



**TAMPEREEN TEKILLINEN YLIOPISTO**  
**TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**TEEMU SUVELA**  
**SÄHKÖVERKKOYHTIÖN KÄYTTÖKESKUSTOIMINNAN KEHIT-**  
**TÄMINEN**

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pekka Verho  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta-  
neuvoston kokouksessa 8. kesäkuu-  
ta 2016

## TIIVISTELMÄ

**TEEMU SUVELA:** Sähköverkkoyhtiön käyttökeskustoiminnan kehittäminen

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 77 sivua, 7 liitesivua

Helmikuu 2017

Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat

Tarkastaja: professori Pekka Verho

Avainsanat: käyttökeskus, mittaaminen, toimintaympäristön muutos

Sähkönjakeluverkkoliiketoiminnan toimintaympäristö on muuttumassa merkittävästi. Toimintaympäristön muutokset vaikuttavat käyttökeskustoimintaan ja vaikutukset tulee huomioida tulevaisuuden kehitystarpeissa. Toiminnan kehittämisessä olennaisena osana on myös toiminnan mittaaminen sen tilan selvittämiseksi. Tämän työn tavoitteena oli tunnistaa käyttökeskustoiminnan kehitystarpeita toimintaympäristön muutosten suhteen sekä kehittää käyttökeskustoiminnan mittareita.

Työn alkuosassa käsitellään sähköverkkoyhtiön käyttökeskustoimintaan liittyvää toimintaympäristöä ja käyttökeskuksen keskeisimpiä tietojärjestelmiä. Toimintaympäristön muutosten vaikutuksia käyttökeskustoimintaan on tarkasteltu kirjallisuuskatsauksen pohjalta. Kehitystarpeiden tunnistaminen ja kehitysehdotukset on tehty oman käytönvalvonta työkokemuksen ja Elenia Oy:ssä tehtyjen haastatteluiden perusteella. Käyttökeskustoiminnan mittaamiseen liittyen tehtiin haastatteluja ja kyselyitä Elenia Oy:ssä käytönvalvontaa tekeville henkilöille.

Toimintaympäristön muutoksista hajautetun tuotannon yleistyminen nähtiin käyttökeskustoiminnan kannalta merkittävimmäksi. Sen aiheuttama verkon käytön monimutkautuminen edellyttää käytönvalvojien kompetenssin sekä toiminnan turvallisuuden entistä parempaa ylläpitämistä. Laajasta maakaapeloinnista aiheutuvien maasulkuvirtojen ja loistehon kompensointiratkaisuiden valvonnan nähtiin vaativan kehittämistä. Henkilöstön kyberturvallisuuskoulutusta korostettiin, koska viimeaikaisten kyberhyökkäysten havaittiin hyödyntäneen käyttäjästä lähtöisin olevia haavoittuvuuksia.

Käyttökeskustoiminnan mittaamista koskevilla haastatteluilla ja kyselyillä saatiin selkeitä tuloksia. Esille nousi erityisesti urakoitsijoiden kokeman palvelutason mittaamisen tarpeellisuus. Tämän pohjalta ehdotettiin kahta kyselyä ja yhtä objektiivista mittaria käyttökeskuksen urakoitsijoille tarjoaman palvelutason mittaamiseksi. Käyttökeskuksen vikojen välittämisen vasteajan mittaamisen todettiin olevan välttämätöntä tarkemman raportoinnin saavuttamiseksi.

## ABSTRACT

**TEEMU SUVELA:** Development of distribution system operator's Control Centre operation

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 77 pages, 7 Appendix pages

February 2017

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

Major: Power Systems and Electricity Market

Examiner: Professor Pekka Verho

Keywords: Control Centre, measurement, change of operational environment

The operational environment of the distribution system operator (DSO) business is changing significantly. These changes in the operational environment affect the DSO's Control Centre operation and this is the reason why effects must be observed in the future development needs. The measurement of the operation is an essential part of development because it provides information about the status of the operation. The aim of this thesis is to recognize development needs of the Control Centre operation so that changes in the operational environment are taken into account. The aim is also to improve the key performance indicators (KPIs) of the Control Centre operation.

The operational environment of the Control Centre and the most essential information systems are introduced in the beginning of this thesis. Changes in the operational environment were studied by using research already existing in literature. Development needs and proposals were made based on the writer's own work experience as a Control Centre operator and interviews conducted at Elenia. Interviews and inquiries concerning the Control Centre operation's measurement were carried to Elenia's Control Centre operators.

The increase in distributed generation was found to be the most significant change in the operational environment that influences the Control Centre operation. It makes the operation of the network more complex which is why it is important to maintain and improve Control Centre operators' competence and safety culture. Due to the increase in the cable network supervision of compensation solutions for earth fault currents and reactive power needs to be developed. The Control Centre operator's cyber security training was considered important because recent cyber-attacks have been exploiting the weaknesses of human operators.

Interviews and inquiries concerning the measurement of the Control Centre operation gave unambiguous results. Especially the measurement of the Control Centre's service level towards contractors was found to be necessary. Two different inquiries and one objective KPI were introduced to measure the service level that the Control Centre provides for the contractors. The measurement of Control Centre response time for faults was found to be obligatory to achieve more accurate reports.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin sähkönjakeluverkkoyhtiö Elenia Oy:lle. Työ aloitettiin vuoden 2016 alkupuolella Käyttökeskus -tiimissä, joka vuoden vaihteessa yhdistyi Käytönsuunnittelu -tiimin kanssa Verkon käyttö -tiimiksi. Työn ohjaajana toimi Elenia Oy:n silloisen Käyttökeskus -tiimin käyttöpäällikkö, nykyinen kunnonhallinta- ja turvallisuuspäällikkö, Turo Ihonen, jota haluan kiittää mahdollisuudesta tehdä mielenkiintoinen työ käyttökeskuksen toimintaan liittyen. Lisäksi haluan kiittää Turoa työhön liittyneistä neuvoista ja kommentteista sekä ajasta esimiehenäni Käyttökeskus -tiimissä. Työn tarkastajana toimi Tampereen teknillisen yliopiston professori Pekka Verho, jota haluan kiittää hyvien näkökulmien esiin tuomisesta sekä työn tarkastamisesta.

Erittäin suuret kiitokset haluan osoittaa käytönvalvoja kollegoilleni arvokkaista neuvoista sekä tuesta koko työn ajan. Lisäksi haluan kiittää kaikkia työn haastatteluihin ja kyselyihin osallistuneita elenialaisia. Haastatteluista ja kyselyistä saatu tieto oli työn kannalta erittäin arvokasta. Suuret kiitokset kuuluvat myös kaikille Elenialla käytönvalvontaa tekeville, jotka vuorojani tuuraamalla mahdollistivat työn valmistumisen ajallaan. Erityiset kiitokset haluan osoittaa Pirkanmaan pelastuslaitoksen palopäällikölle Ari Vakkilaiselle sekä Tampereen tieliikennekeskuksen päällikölle Marketta Udeliukselle mahdollisuuksista mielenkiintoisiin ja opettavaisiin vierailuihin heidän valvomoissaan.

Suurimmat kiitokset haluan osoittaa perheelleni läpi elämän ja opiskeluiden jatkuneesta tuesta ja kannustuksesta. Lisäksi haluan kiittää ystäviäni kannustuksesta opintojeni aikana. Lopuksi haluan osoittaa rakkaat kiitokset tyttöystävälleni Eveliinalle tärkeästä tuesta diplomityöprosessin aikana.

Tampereella 20.2.2017

Teemu Suvela

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	1
2.	SÄHKÖVERKKOYHTIÖN KÄYTTÖKESKUSTOIMINTA .....	3
2.1	Sähköverkkoliiketoiminta .....	3
2.1.1	Regulaatio.....	4
2.1.2	Ohjaavat lait ja päätökset .....	4
2.2	Sähkönjakelujärjestelmä.....	6
2.2.1	Jakeluverkon komponentit .....	8
2.2.2	Sähkönjakeluautomaatio.....	9
2.3	Käyttökeskuksen keskeisimmät tietojärjestelmät .....	10
2.3.1	Käytönvalvontajärjestelmä.....	10
2.3.2	Käytäntökäyttöjärjestelmä.....	11
2.3.3	Asiakastietojärjestelmä.....	12
2.3.4	Puhelinjärjestelmät.....	13
2.3.5	Muut järjestelmät .....	13
2.4	Käyttökeskuksen tehtävät.....	14
2.4.1	Verkon valvonta .....	15
2.4.2	Verkon rakennus- ja kunnossapitotyöt .....	15
2.4.3	Vikojen hallinta.....	16
3.	TOIMINTAYMPÄRISTÖN MUUTOSTEN VAIKUTUS KÄYTTÖKESKUSTOIMINTAAN .....	20
3.1	Hajautettu sähköntuotanto.....	20
3.1.1	Vaikutukset jakeluverkon suojaukseen .....	21
3.1.2	Jakeluverkon turvallinen käyttö .....	27
3.1.3	Mahdollisuudet jakeluverkon käytölle .....	28
3.2	Laajamittainen maakaapelointi .....	29
3.2.1	Maasulkuvirtojen kompensointi.....	29
3.2.2	Loistehon kompensointi ja jännitteen nousu .....	31
3.3	Yhteiskunnan sähköriippuvuus.....	32
3.3.1	Tehopulatilanne.....	33
3.4	Tieto- ja kyberturvallisuus .....	35
4.	KÄYTTÖKESKUSTOIMINNAN KEHITTÄMINEN .....	37
4.1	Elenia Oy:n käyttökeskus.....	37
4.2	Toimintaympäristön muutoksiin vastaaminen .....	39
4.2.1	Kompetenssin ja turvallisuuden ylläpitäminen .....	39
4.2.2	Sammutuskelojen säädön hallinta .....	40
4.2.3	Loistehon ja reaktoreiden hallinta.....	41
4.2.4	Tehopulatilanne.....	43
4.2.5	Käyttökeskuksen kyberturvallisuus .....	44
4.3	Muut kehitystarpeet .....	45

4.3.1	Hälytysten indikointi .....	45
4.3.2	Ruuhkatilanteiden hallinta .....	47
5.	KÄYTTÖKESKUSTOIMINNAN MITTAAMINEN .....	50
5.1	Mittaamiseen teoriaa .....	50
5.1.1	Mittarit ja niiden ominaisuudet .....	51
5.2	Käyttökeskustoiminnan nykyinen seuranta ja mittarit .....	53
5.3	Haastattelut ja kyselyt .....	54
5.3.1	Käyttökeskustoiminnan mittaamisen haasteet .....	57
5.4	Toiminnan turvallisuus ja laatu .....	58
5.4.1	Sidosryhmien palvelu .....	58
5.5	Prosessien noudattaminen .....	62
5.6	Ajallinen tehokkuus .....	62
5.6.1	Vasteajan mittaaminen pien- ja keskijänniteverkon vioissa .....	64
5.7	Loistehon hallinnan seuranta .....	66
6.	YHTEENVETO .....	67
6.1	Itsearviointi .....	70
	LÄHTEET .....	71
	LIITE A: KYSELY KÄYTTÖKESKUSTOIMINNAN KEHITTÄMISESTÄ JA MITTAAMISESTA KÄYTÖNVALVOJILLE .....	78
	LIITE B: KYSELY KÄYTTÖKESKUSTOIMINNAN MITTAAMISESTA OMAN TOIMEN OHELLA KÄYTÖNVALVONTAA TEKEVILLE .....	81
	LIITE C: MUILLE KRIITTISEN INFRASTRUKTUURIN VALVOJILLE TEHDYN HAASTATTELUN RUNKO .....	83

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

AMR	engl. Automatic Meter Reading, mittareiden automaattinen kauko- luenta tekniikka
CRM	engl. Customer Relationship Management, asiakkuudenhallinta
DMS	engl. Distribution management system, käytöntukijärjestelmä
EVY	Eroonkytkennän viestiyhteys
FLIR	engl. Fault detection, Location, Isolation and supply Restoration, automaattinen vian paikannus ja rajaus järjestelmä
KAH-kustannus	Sähkönjakelun keskeytyksestä laskennallisesti asiakkaalle aiheutu- va haitta, joka kirjautuu reguaaltiomallin kautta kustannukseksi sähköverkkoyhtiölle
LTIF	engl. Lost Time Injury Frequency, turvallisuutta kuvaava indeksi, joka kertoo tapaturmien määrän miljoonaa työtuntia kohden
RTU	engl. Remote Terminal Unit, ala-asema
SAIDI	engl. System Average Interruption Duration Index, keskimääräinen keskeytysaika asiakkaalle vuodessa
SCADA	engl. Supervisory Control And Data Acquisition, käytönvalvonta- järjestelmä
UPS-laitteisto	engl. Uninterruptible Power Supply, laitteisto jolla taataan keskey- tyksetön sähkönsyöttö

# 1. JOHDANTO

Sähkönjakeluverkkoliiketoiminnassa eletään muun energia-alan kanssa murroksen aikaa. Toimintaympäristö muuttuu entistä nopeammin ja sähkönjakeluverkkoyhtiöiden tulee vastata muutoksiin valinnoillaan ja toimillaan. Jakeluverkkoyhtiöiden käyttökeskukset kohtaavat näiden muutosten ja toimien käytännön merkitykset ensimmäisten joukossa vastatessaan sähkönjakeluprosessin toiminnasta ympäri vuorokauden vuoden jokaisena päivänä.

Hajautettu sähköntuotanto tulee muuttamaan jakeluverkkojen käytön filosofiaa tulevina vuosikymmeninä huomattavasti. Tehon ja vikavirtojen virtaus ei ole enää yksisuuntaista sähköasemalta kohti kulutusta tai vikaa, mikä tekee verkon käytöstä monimutkaisempaa. Lisäksi aktiivisten jakeluverkossa toimijoiden määrä lisääntyy, kun mikrotuotantolaitoksilla tuotettua sähköä halutaan syöttää jakeluverkkoon.

Kuluvan vuosikymmenen alussa laajamittaisesti käynnistyneet sähkönjakeluverkkojen korvausinvestoinnit jatkuvat nykyisellä voimakkuudella ainakin tulevat kymmenen vuotta. Laaja maakaapelointi parantaa sähkönjakelun toimitusvarmuutta merkittävästi, mutta se aiheuttaa myös haasteita verkon suunnittelussa ja käytössä. Maasulkuvirtojen ja kapasitiivisen loistehon kasvua jakeluverkoissa on tutkittu viime vuosina paljon. Maasulkuvirtojen kompensointiratkaisut ovat jo vakiintuneita, mutta kapasitiivisen loistehon kompensointiin liittyvät ratkaisut ovat vasta yleistymässä jakeluverkossa. Kompensointilaitteiden valvonnan ja hallinnan merkitys käyttökeskuksissa korostuu entisestään, kun maakaapelin määrä verkossa yhä kasvaa.

Yhteiskunnan sähköriippuvuuden kasvaminen on näkynyt jakeluverkon toimitusvarmuuskriteerien kiristymisenä. Lisäksi Suomen koko sähkövoimajärjestelmä on riippuvainen tuontisähköstä, kun perinteistä lauhdevoimaa on hävinnyt markkinoilta. Tehopulan todennäköisyys kovilla talvipakkasilla onkin parin viimeisen vuoden aikana kasvanut.

Myös verkostoautomaatioon liittyvät kyberuhat ovat viime vuosina kasvaneet (Tervo 2013). Sähkönjakeluprosessin kannalta osoitus tästä on ollut vuonna 2015 Ukrainassa tapahtunut kyberhyökkäys sähkönjakeluverkoja kohtaan. Se oli tietävästi ensimmäinen sähkönjakeluverkkoihin kohdistettu vihamielinen kyberhyökkäys, joka aiheutti sähkönjakelun keskeytyksiä (SANS 2016).

Tämä työ on tehty sähkönjakeluverkkoyhtiö Elenia Oy:lle. Elenia Oy vastaa sähkönjakelusta 420 000 asiakkaalle yli sadan kunnan alueella. Sähkönjakeluverkkoa Elenia



Oy:llä on 67 600 km Kanta- ja Päijät-Hämeessä, Pirkanmaalla, Keski-Suomessa sekä Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla. Koko sähköverkkoa valvotaan keskitetysti Tampereen käyttökeskuksesta. Työ aloitettiin Käyttökeskus -tiimissä, joka työn tekemisen aikana yhdistyi Käytönsuunnittelu -tiimin kanssa Verkon käyttö -tiimiksi.

Tämän työn tavoitteena oli tunnistaa käyttökeskustoiminnan kehittämistarpeita muuttuvan toimintaympäristön suhteen sekä kartoittaa parhaita valvontatoiminnan toimintatapoja muita kriittistä infrastruktuuria valvovia toimijoita haastatteleamalla. Lisäksi tavoitteena oli tarkastella käyttökeskustoiminnan mittaamista ja kehittää käyttökeskustoiminnan tilasta kertovia mittareita. Mittareilla oli tarkoituksena seurata muun muassa käyttökeskuksen toiminnan tehokkuutta, palvelutasoa ja turvallisuutta. Suurhäiriötilanteet rajattiin työn ulkopuolelle ja työssä käsiteltiin käyttökeskustoiminnan kehittämistä ja mittaamista normaaliaikana, jolloin käyttökeskus toimii ilman lisäresursseja. Työn tutkimusosuus tehtiin kirjallisuuskatsauksena sekä kysely- ja haastattelututkimuksena.

Motivaationa työlle ovat olleet nykyiset sekä tulevat toimintaympäristön muutokset, joiden vaikutuksia tulee arvioida käyttökeskustoiminnan kehitystarpeiden kartoittamiseksi. Lisäksi tarpeena on ollut kehittää käyttökeskustoiminnan mittaamista, jotta toiminnan tilasta saataisiin tarkempaa tietoa. Toiminnan tilasta tulee saada tarkkaa tietoa, jotta toimintaa voidaan johtaa ja ohjata haluttuun suuntaan. Mittaaminen on myös toiminnan kehittämisen kannalta tärkeä asia, koska sen avulla havaitaan kehittämistä vaativia kohteita. Käyttökeskustoiminnan mittaamiseen liittyvänä haasteena on ollut käyttökeskuksen ulkopuolelta lähtöisin olevien tekijöiden kuten säätömiöiden ja urakoitsijoiden toiminnan vaikutus mittareihin. Tällöin käytönvalvojien toiminnan vaikutus joidenkin mittareiden tuloksiin on ollut rajallinen.

Luvussa kaksi käsitellään kirjallisuuslähteiden pohjalta sähköverkkoliiketoimintaa ja siihen liittyvää lainsäädäntöä käyttökeskustoiminnan kannalta. Lisäksi luvussa käydään läpi sähkönjakelujärjestelmää ja käyttökeskuksen keskeisimpiä tietojärjestelmiä. Luvun lopussa esitellään kirjallisuuslähteiden ja oman työkokemuksen pohjalta käyttökeskuksen tärkeimpiä tehtäviä. Kolmannessa luvussa tarkastellaan kirjallisuuskatsauksen perusteella sähköverkkoliiketoiminnan toimintaympäristön muutosten vaikutuksia sähkönjakeluverkkojen käyttöön ja tätä kautta käyttökeskustoimintaan. Neljännessä luvussa pohditaan käyttökeskustoiminnan kehitystarpeita kolmannessa luvussa käsiteltyjen toimintaympäristön muutosten suhteen. Neljännen luvun lopussa käsitellään myös kahta muuta käyttökeskustoiminnan kehityskohdetta, jotka on havaittu tärkeiksi Elenia Oy:ssä tehtyjen haastatteluiden perusteella. Viides luku pohjautuu haastattelu- ja kyselytutkimukseen ja se käsittelee käyttökeskustoiminnan mittaamista. Luvun alussa käsitellään mittaamiseen liittyvää teoriaa, jonka jälkeen käydään läpi tehtyjen haastatteluiden ja kyselyiden tuloksia. Luvun loppupuolella käsitellään uusia käyttökeskustoiminnan mittareita ja pohditaan niiden ohjaavia vaikutuksia. Lopuksi yhteenvedossa käydään läpi työn keskeisimmät tulokset ja arvioidaan tavoitteissa onnistumista.

## 2. SÄHKÖVERKKOYHTIÖN KÄYTTÖKESKUS-TOIMINTA

Sähkönjakeluverkkoyhtiöiden toimintamallit ja prosessit vaihtelevat verkkoyhtiön koosta ja toimintaympäristöstä riippuen. Tässä työssä käsitellään käyttökeskustoimintaa sellaisten verkkoyhtiöiden näkökulmasta, joilla sitä hoidetaan keskitetysti ympäri vuorokauden. Tässä luvussa esitellään yleisesti sähköverkkoyhtiön käyttökeskuksen toimintaympäristöä ja keskeisimpiä tietojärjestelmiä.

### 2.1 Sähköverkkoliiketoiminta

Sähköverkkoliiketoiminta on Suomessa luvanvaraista toimintaa. Sen harjoittaminen vaatii Energiaviraston myöntämän verkkoluvan. Kansantalouden näkökulmasta ei ole järkevää rakentaa kilpailevia rinnakkaisia sähköverkkoja, joten sähköverkot ovat käytännössä luonnollisen monopolin asemassa. Tämän vuoksi liiketoiminta on luvanvaraista ja viranomaisen vahvistaa toimijoiden maantieteelliset vastuualueet. Suomessa toimii vajaa 80 sähkönjakeluverkkoyhtiötä, joista osalla on omistuksessaan myös suurjännitteistä jakeluverkkoa. (Energiavirasto 2016a) Jakeluverkkoyhtiöt ovat erikokoisia ja eroavat toisistaan merkittävästi toimintaympäristön, verkon rakenteen sekä omistusrakenteen osalta (Energiavirasto 2016b, s. 5). Kaikkia sähkönjakeluverkkoyhtiöitä koskee kuitenkin sama sähkömarkkinalaki (588/2013). Sähkömarkkinalaissa (588/2013) on asetettu jakeluverkonhaltijoille useita velvollisuuksia, kuten käyttöpaikkojen ja voimalaitosten liittämisvelvollisuus, verkon kehittämisvelvollisuus sekä siirtovelvollisuus (Heikkilä 2014, s. 6).

Lakervi & Partanen (2008, s. 21–22) mukaan sähköverkkoyhtiön toiminnot voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan, jotka ovat verkkojen omistaminen, verkkojen käyttö ja palvelutoiminnot. Nämä pääluokat jakaantuvat pää- ja oheistoimintoihin, joita verkkoyhtiöt strategiastaan riippuen toteuttavat joko itse tai hankkivat ostopalveluina. Yleisesti katsottuna jakeluverkkoyhtiöiden ydintoimintoja ovat omaisuuden hallinta, liiketoiminnan suunnittelu ja toteutus, verkkojen pitkän aikavälin kehittämissuunnittelu, verkkojen rakennuttaminen sekä usein myös asiakaspalvelu. Viimeisen parin vuosikymmenen trendinä on ollut ydintoimintojen ulkopuolelle jäävien osa-alueiden ulkoistaminen. Hankkimalla toimintoja vapaasti kilpailluilta markkinoilta verkkoyhtiöt tavoittelevat tehokkuutta ja kustannussäästöjä. (Lakervi & Partanen 2008, s. 21–22) Ostopalveluiden käytön sähköverkkoliiketoiminnassa katsotaan alkaneen sähkömarkkinoiden vapauduttua 1990-luvun puolessa välissä ja tästä seuranneiden energia-alan yhtiöiden laajojen omistusmuutosten jälkeen. Yleisimmin ostopalveluna hankitaan verkostourakointia,

kuten verkon rakentamista ja kunnossapitoa. Myös verkon käyttöön ja vianhoitoon liittyviä toimintoja hankitaan ulkopuolisilta palveluntuottajilta. (Aminoff et al. 2009, s. 95–96) Aminoff et al. (2009) tekemässä raportissa käy ilmi, että valvomotoimintoja pidetään alalla eriluonteisena verrattuna muihin käytön toimintoihin, minkä vuoksi niiden hankinta ostopalveluna ei ole kovin yleistä. Haasteita käyttökeskustoiminnan ulkoistamiseen aiheuttavat muun muassa tietovirtojen kulun varmistaminen ja tietojärjestelmien integrointi. (Aminoff et al. 2009)

### 2.1.1 Regulaatio

Energiavirasto on Suomessa viranomainen, joka valvoo sähköverkonhaltijoiden siirtohinnoittelun kohtuullisuutta. Tapauskohtaisesta hintojen ja verkkotoiminnan tarkastelusta on siirrytty valvontamalliin, jossa kohtuullisen hinnoittelun kriteerit on määritelty etukäteen ja valvonta perustuu neljän vuoden jaksoihin. Energiavirasto kerää verkonhaltijoilta valvontajakson aikana tiedot verkkorakenteesta, tilinpäätöksestä ja teknisistä tunnusluvuista. Näiden tietojen avulla lasketaan ennalta määritellyn laskentaperiaatteen mukaisesti kohtuullinen tuotto ja oikaistu toteutunut tulos, joiden erotuksesta saadaan verkonhaltijalle tilikaudelta syntyvä ali- tai ylijäämä. Valvontamenetelmän laskentamalliin sisältyy kannustimia, joiden tarkoituksena on ohjata verkkoyhtiöiden toimintaa ja investointeja haluttuun suuntaan. (Heikkilä 2014) Energiavirastolle tekemässään diplomityössä Heikkilä (2014) käsittelee valvontamenetelmiä ja niiden kehittämistä tarkemmin.

### 2.1.2 Ohjaavat lait ja päätökset

Sähkönjakeluverkkoyhtiön toimintaa ohjaa sähkömarkkinalaki (588/2013). Sähkömarkkinalain (588/2013) neljännen luvun pykälässä 19 säädetään verkon kehittämisvelvollisuudesta. Tässä pykälässä määritetään korkean tason periaatteet sille, miten sähkönjakeluverkkoja tulee Suomessa suunnitella, rakentaa ja ylläpitää. Sähkömarkkinalain (588/2013) pykälän 19 kohdissa 2 ja 3 velvoitetaan seuraavaa:

*”Sähköverkko on suunniteltava ja rakennettava ja sitä on ylläpidettävä siten, että:*

*2) sähköverkko ja sähköverkkopalvelut toimivat luotettavasti ja varmasti silloin, kun niihin kohdistuu normaaleja odotettavissa olevia ilmastollisia, mekaanisia ja muita ulkoisia häiriöitä;*

*3) sähköverkko ja sähköverkkopalvelut toimivat mahdollisimman luotettavasti normaaliolojen häiriötilanteissa ja valmiuslaissa (1552/2011) tarkoitetuissa poikkeusoloissa;”*

Edellä esitetyt kohdat asettavat perusvaatimuksia myös käyttötoiminnalle ja sen luotettavuudelle. Vielä tarkemmin jakeluverkon toiminnan laatuvaatimuksista on säädetty saman lain (588/2013) pykälän 51 kohdissa 1, 2 ja 3:

*”Jakeluverkko on suunniteltava ja rakennettava, ja sitä on ylläpidettävä siten, että:*

*1) verkko täyttää järjestelmävastaavan kantaverkonhaltijan asettamat verkon käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskevat vaatimukset;*

*2) jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta asemakaava-alueella verkon käyttäjälle yli 6 tuntia kestäväää sähkönjakelun keskeytystä;*

*3) jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta muulla kuin 2 kohdassa tarkoitettulla alueella verkon käyttäjälle yli 36 tuntia kestäväää sähkönjakelun keskeytystä.”*

Näiden vaatimusten täyttäminen on tällä hetkellä työn alla, kun verkkoyhtiöt tekevät korvausinvestointeja sekä kehittävät ja lisäävät verkostoautomaatiota verkkojensa toimintusvarmuuden parantamiseksi. Korvausinvestointien lisäksi myös verkon käyttötoiminta tulee olla toteutettu siten, että lain vaatimukset täytetään. Käyttökeskustoimintaa vikatilanteiden hoitamisessa ohjaavat sähkömarkkinalain (588/2013) pykälässä 100 asetetut sähkönjakelun tai -toimituksen keskeytyksen ajallisesta pituudesta riippuvat vakiokorvausluokat. Vakiokorvausluokilla on määritelty sähköverkkoyhtiön asiakkailleen maksaman korvauksen suuruus sähkönjakelun keskeytyksen pituudesta riippuen. Käytännössä sähköt pyritään kuitenkin palauttamaan aina mahdollisimman nopeasti, mutta vakiokorvausluokat ohjaavat verkkoyhtiöitä hakemaan ratkaisuja erityisesti pitkien keskeytysten välttämiseksi.

Vuonna 2013 voimaan tullessa sähkömarkkinalaissa (588/2013) tuli uutena voimaan pykälä 28, jossa säädetään verkonhaltijan varautumissuunnittelusta. Pykälä velvoittaa verkonhaltijaa varautumaan asianmukaisella suunnittelulla normaaliolojen häiriötilanteisiin sekä valmiuslaissa (1552/2011) määriteltyihin poikkeusoloihin. Sähkömarkkinalain (588/2103) mukaan verkonhaltijan on päivitettävä varautumissuunnitelmaansa vähintään kahden vuoden välein tai kun olosuhteissa tapahtuu merkittäviä muutoksia. Jos suunnitelma ei täytä sille säädettyjä vaatimuksia, voi huoltovarmuuskeskus vaatia suunnitelman täydentämistä puolen vuoden sisällä suunnitelman vastaanottamisesta. (Sähkömarkkinalaki 588/2013) Pykälän 28 asettamien velvoitteiden täyttämiseksi verkkoyhtiöissä on useita konkreettisia ohjeistuksia ja käytäntöjä verkon käyttötoimintaa varten. Esimerkkeinä tällaisista ovat toimintaohjeet suurhäiriötilanteisiin sekä seikkaperäiset ohjeistukset sähköpulatilanteisiin. Häiriötilanteiden hoitamiseen liittyy myös uutena sähkömarkkinalakiin tullut pykälä 29, jossa velvoitetaan verkonhaltijaa tekemään yhteistyötä toiminta-alueensa muiden verkonhaltijoiden, viranomaisten ja yhdyskuntatek-

nisten verkkojen haltijoiden kanssa häiriön selvittämiseksi. Yhteistyötä viranomaisten ja muiden tahojen kanssa on kuitenkin tehty jo ennen pykälän voimaantuloa.

Sähkömarkkinalain (588/2013) ohella toinen sähköverkkojen käytön kannalta oleellinen laki on sähköturvallisuuslaki (1135/2016). Sähköturvallisuuslain (1135/2016) pykälän kuusi mukaan sähkölaitteita ja -laitteistoja tulee korjata, huoltaa ja käyttää niin, että niistä ei aiheudu vaaraa kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle. Sähkölaitteistojen käytöstä ei saa myöskään aiheutua kohtuutonta sähköistä tai sähkömagneettista häiriötä ja niiden toiminta ei saa helposti häiriintyä sähköisesti tai sähkömagneettisesti (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016).

Sähkönjakeluverkon käyttötöitä varten on sähkölaitteiston haltijan nimettävä käytön johtaja, joka vastaa siitä, että verkko on käytön aikana sähköturvallisuuslain (1135/2016) mukainen ja myös verkon käyttö ja huolto on edelle mainitun lain mukaista. Käytön johtaja vastaa myös siitä, että käyttötöitä tekevät ammattitaitoiset ja riittävän opastuksen saaneet henkilöt. Noudattamalla sähköturvallisuusviranomaisen julkaisemia standardeja tai saavuttamalla ja osoittamalla muuten standardeja vastaava turvallisuustaso, katsotaan sähköturvallisuuslain olennaisten turvallisuusvaatimusten täyttyvän (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016). Sähkönjakeluverkon käyttötöissä hyvin keskeinen standardi on sähkötyöturvallisuusstandardi SFS 6002 (2015). Se ohjaa oleellisesti jokapäiväistä käyttötoimintaa. Standardin SFS 6002 (2015) käyttötöihin liittyviä osuuksia käsitellään tarkemmin luvussa 2.5 käyttökeskuksen tehtävien yhteydessä, sekä myöhemmissä luvuissa.

## **2.2 Sähkönjakelujärjestelmä**

Sähkönjakelujärjestelmä on osa sähkövoimajärjestelmää, joka koostuu jakeluverkkojen lisäksi tuotantolaitoksista, siirtoverkoista ja kuluttajista. Suomen sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmä on esitetty yksinkertaistettuna kuvassa yksi. Kantaverkko on esitetty kuvan yläosassa ja jakeluverkko kuvan alaosassa. Kanta- ja jakeluverkon rajan määrittävä liittymispiste on merkitty kuvaan nuolella. Liittymispiste sijaitsee joko kantaverkon 110 kV voimajohdosta lähtevän haaran liityntäköysillä, kuten kuvassa 1, tai vaihtoehtoisesti kantaverkon kytkinlaitoksen lähtökentässä (Fingrid 2016a).



rakentamaan verkosta entistä rengasmaisempaa. Näillä toimilla on tarkoitus saavuttaa sähkömarkkina-asetuksen (588/2013) jakeluverkoille asetetut laatuvaatimukset, jotka jakeluverkkoyhtiöiden tulee toteuttaa vuoden 2028 loppuun mennessä. Laajamittaisen maakaapeloinnin ja muiden toimintaympäristön muutosten vaikutusta käyttökeskustoimintaan tarkastellaan luvussa kolme.

## 2.2.1 Jakeluverkon komponentit

Jakeluverkossa eri jännitetasojen välillä on sähköasemia ja jakelumuuntamoita. Sähköasemia syötetään yleensä 110 kV johdoilla, mutta käytössä on yhä myös 220 kV ja 45 kV syötössä olevia sähköasemia. Sähköasemalla päämuuntajalla muunnetaan suurjännite keskijännitteeksi, josta jakelu hajautuu usealla keskijännitejohdolla kohti asiakkaita. Keskijännitejohdoilla syötetään asiakkaiden lähellä sijaitsevia jakelumuuntamoita. Jakelumuuntamoilla keskijännite muunnetaan pienjännitteeksi ja jaellaan aina asiakkaiden liittymispisteille asti. (Lakervi & Partanen 2008)

Sähköasemilla ja verkossa sijaitsevien kytkinlaitteiden avulla verkon kytkentätilannetta voidaan muuttaa ja vikaantuneita verkon osia erottaa muusta verkosta. Katkaisijat sijaitsevat sähköasemien lähtö- ja syöttökentissä, sekä joissain tapauksissa myös keskijännitejohtolähtöjen varsilla. Katkaisijat ovat normaalisti kauko-ohjattuja ja niiden avulla voidaan katkaista sekä kuormitus- että vikavirtoja. Erotin puolestaan on kytkinlaite, jolla ei voida katkaista vikavirtoja, mutta riippuen erottimen tyypistä ja katkaisukykyvystä kuormitusvirtoja tiettyyn rajaan asti. Erotin voi olla käsin ohjattava tai kauko-ohjattava. Erottimia sijaitsee sekä sähköasemilla että verkossa. Niiden avulla muutetaan kytkentätilannetta ja erotetaan verkon osia sähköisesti muusta verkosta. (Elovaara & Haarla 2011) Erottimet toimivat kytkinlaitteina, joiden avaamisella ja lukitsemisella toteutetaan sähköturvallisuus standardin (SFS 6002 2015) mukainen täydellinen erottaminen sekä jännitteen kytkemisen estäminen.

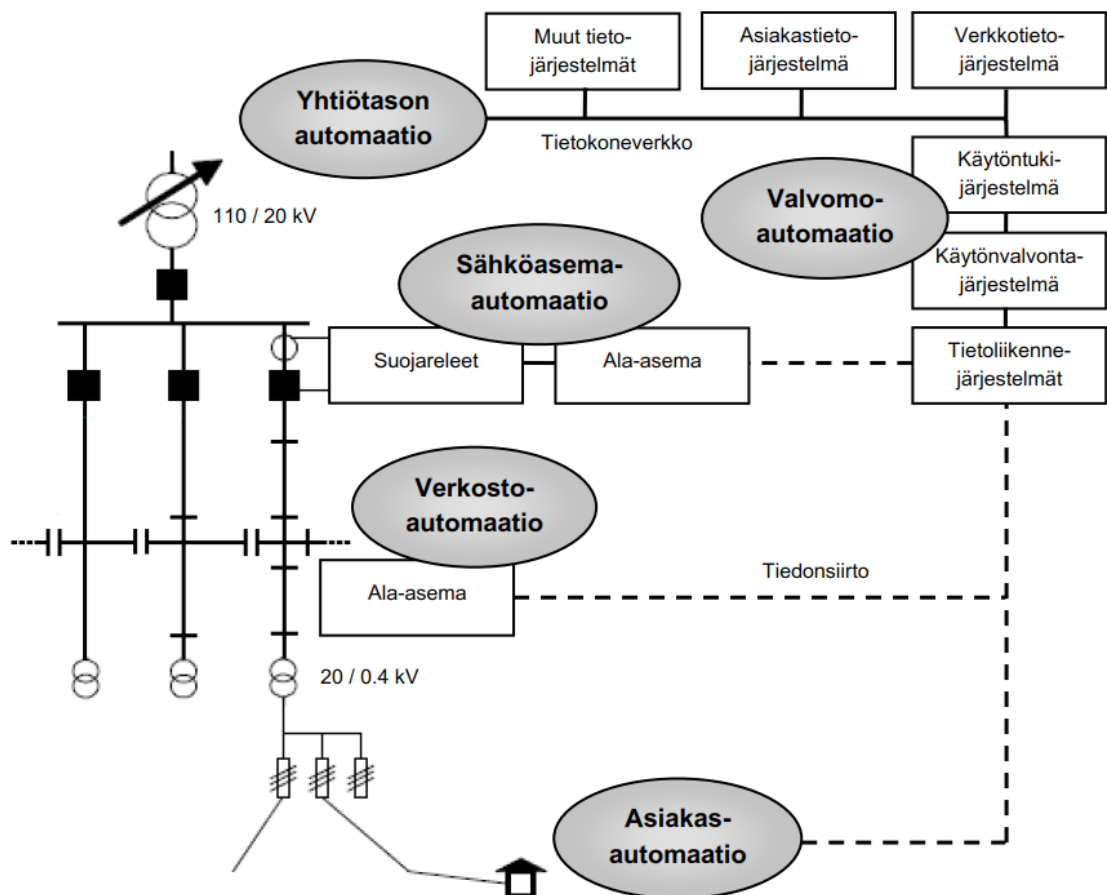
Sähköasemalla sijaitsevien virta- ja jännitemuuntajien avulla mitataan verkon sähkötekniisiä suureita. Mittamuuntajilta tieto kulkee suoja- tai valvontareleille, jotka lähettävät mittaustietoja eteenpäin ja vertaavat niitä suojausasetteluihin. Jos releen havaitsema mittaussarvo ei pysy sille määritellyissä asetteluarvoissa, se ohjaa vikaantunutta verkon osaa suojaavan katkaisijan auki, jolloin vika kytkeytyy irti muusta verkosta. Releet lähettävät tietoa eteenpäin ala-asemalle (*RTU, Remote Terminal Unit*), jonka avulla vastaanotetaan ja lähetetään mittaus- ja tilatietoja sekä ohjauksia käytönvalvontajärjestelmään. (Elovaara & Haarla 2011)

Nykyisin tärkeänä osana jakeluverkkoa ja sen käyttöä ovat myös etäluettavat sähkömittarit, joista muodostuvaa infrastruktuuria kutsutaan AMR-järjestelmäksi (*AMR, Automatic Meter Reading*). Etäluettavien sähkömittareiden ensisijainen tarkoitus on ollut mahdollistaa tuntikohtaisten energiamittaustietojen kerääminen asiakkailta, mutta niiden avulla saavutetaan myös verkon valvonnan kannalta merkittäviä etuja. Reaaliajassa

pienjänniteverkosta saatavien jännite- ja virtatietojen avulla myös pienjänniteverkon valvonta on automatisoitu ja käytönvalvojille on tarjolla yhä enemmän tietoa päätöksenteon tueksi.

## 2.2.2 Sähkönjakeluautomaatio

Sähkönjakeluautomaatiolla käsitetään kaikki jakeluverkkotoiminnan automaatioon liittyvät laitteet, tietojärjestelmät ja tiedonsiirtoyhteydet (Verho et al. 1997). Se jakaantuu viiteen eri tasoon, jotka ovat esitetty kuvassa 2. Tasot sisältävät laitteita ja järjestelmiä, joiden avulla kerätään ja analysoidaan verkosta ja muista tietolähteistä saatavaa tietoa. Mitä lähemmäs asiakastason automaatiota yhtiötasolta mennään, sitä enemmän kasvaa laitteiden ja tietolähteiden määrä. Tasoilta on määritelty eri tehtäviä ja toimintoja. Tasot eivät kuitenkaan ole tarkkaan rajattuja, vaan verkkoyhtiöstä riippuen tehtäviä saatetaan hoitaa eri tasoilla tai niitä on pilkottu usealle eri tasolle. (Hälvä 2013)



**Kuva 2.** Sähkönjakeluautomaation tasot (Koto 2010)

Yhtiötason automaatio sisältää apuvälineet, joilla hoidetaan tietojen hallintaa ja pitkän aikavälin suunnittelua. Valvomoautomaation tasoon kuuluvat käyttötoiminnan tietojärjestelmät, joilla hoidetaan verkon käytön suunnittelua ja reaaliaikaista verkon valvontaa ja hallintaa. Valvomotason tietojärjestelmiä ja käyttökeskuksen tehtäviä käydään tar-



kemmin läpi luvun 2 loppupuolella. Valvomotason tehtävien hoitamisen kehittäminen ja toimintaympäristön muutosten vaikutuksiin vastaaminen ovat tässä työssä keskeisessä tarkastelussa. Sähköasema-, verkosto- ja asiakasautomaatiotasoilla on toteutettu automaatiotoimintoja luvussa 2.2.1 esitetyille komponenteille. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa ohjaukset ja ohjaussekvenssit, mittaukset, suojaustoiminnot, säädöt sekä tiedonsiirto (Lakervi & Partanen 2008, s. 234–235).

Järventausta et al. (2011) esittävät julkaisussaan Suomen nykyisen sähköjakeluautomaation olevan ensimmäinen versio älykkäästä sähköverkosta (*SG, Smart Grid*), joka on jo vuosikymmeniä jatkuneen sähköjakeluautomaation kehityksen tulosta. Esimerkkeinä älykkään sähköverkon ensimmäisestä versiosta ovat jo käytössä olevat vikaindikaattorit, automaattinen vianpaikannus ja -rajaus järjestelmä sekä asiakkaiden kuormien ohjaus. Näiden jo käytössä olevien automaatiojärjestelmien parantaminen ja uusien kehittäminen ovat seuraavan sukupolven älykästä sähköverkkoa. Erityisesti pienjänniteverkon automaation merkitys tulee korostumaan, koska se vaikuttaa olennaisesti kysynnän jouston, sähköautojen latauksen, hajautetun tuotannon ja mikroverkkojen yleistymiseen. (Järventausta et al. 2011)

## 2.3 Käyttökeskuksen keskeisimmät tietojärjestelmät

Tietojärjestelmät ovat jo vuosia olleet välttämättömiä työkaluja sähköverkkoyhtiön toiminnassa. Käyttökeskuksissa on vielä noin 20 vuotta sitten ylläpidetty verkon kytkentätilannetta tulostetuille verkkokartoille nuppineuloilla erottimien tiloja merkatien. Tästä on vuosikymmenien saatossa siirrytty sähköisiin tietojärjestelmiin. Tietojärjestelmät ovat tehostaneet käyttökeskuksen toimintaa huomattavasti ja olleet käytännössä välttämättömyys suurempien tietomäärien hallitsemiseksi. Tässä luvussa esitellään sähköverkon käytönvalvonnan kannalta keskeisimmät tietojärjestelmät, joita käyttöhenkilökunta päivittäisessä työssään tarvitsee.

### 2.3.1 Käytönvalvontajärjestelmä

Käytönvalvontajärjestelmä on sähköjakeluprosessin reaaliaikaiseen valvontaan ja ohjaukseen tarkoitettu tietojärjestelmä. Siitä käytetään nimitystä SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), joka on yleisnimitys teollisuuden valvomo-ohjelmistoille. Käytönvalvontajärjestelmällä hallitaan ja esitetään sähköasemilta ja verkosta saatavia mittaus-, tila- ja tapahtumatietoja. Verkon kytkentätilanteen ylläpitäminen ja hallinta ovat kriittisimpiä käytönvalvontajärjestelmällä hoidettavia tehtäviä. Järjestelmään on mallinnettu jakeluverkon kytkinlaitteet yleisellä tasolla siten, että verkon kytkentätilanne käy selkeästi ilmi. Tarkkoja teknisiä tai maantieteellisiä tietoja verkosta ja komponenteista ei käytönvalvontajärjestelmässä esitetä. Käytönvalvontajärjestelmän tärkeimpiä toimintoja ovat kauko-ohjaukset ja tapahtuma-, hälytys- ja mittautustietojen hallinta. Tämän lisäksi käytönvalvontajärjestelmän avulla voidaan tehdä etäasettelu-

muutoksia, kuten jälleenkytkentöjen estoja ja sallimisia sekä suojausasetteluryhmien vaihdoksia. Käytönvalvontajärjestelmä tarjoaa myös raportointitoimintoja esimerkiksi tapahtuma- ja mittaustietojen historian tarkasteluun. (Lakervi & Partanen 2008, s. 235–236.)

Käytönvalvontajärjestelmästä saatava reaaliaikainen tieto ja sen kautta tehtävät ohjaukset ovat käyttötoiminnan ja turvallisuuden kannalta kriittisiä tekijöitä. Järjestelmän tarjoamien toimintojen ja tietojen kriittisyyden vuoksi sille on asetettu korkeat luotettavuusvaatimukset. Pitkätkään tietoliikenneyhteys- tai sähkökatkokset eivät saa häiritä järjestelmän käyttöä. Palvelinlaitteiston sähkön saanti on pitkien sähkökatkojen aikana varmennettu UPS-laitteistolla. Tämän lisäksi palvelinlaitteistot on kahdennettu joko kuuma- tai kylmäkahdennuksella. Kuumakahdennetussa järjestelmässä yhden palvelimen vikaantuessa siirrytään varapalvelimelle välittömästi, jolloin tietojärjestelmän käyttöön ei aiheudu katkosta. Keskusjärjestelmään kuuluu kahdennettujen palvelinten lisäksi käyttöhenkilökunnan työasemat, joita voi olla liitettynä järjestelmään useita kymmeniä. Sähköasemilla ja kauko-ohjattavilla erotinasemilla sijaitsevat ala-asemat muodostavat osan käytönvalvontajärjestelmää. Ala-asemat välittävät tila- ja mittaustiedot käytönvalvontajärjestelmän prosessitietokantaan. (ABB 2013) Yhteyksien ja sähkön saannin lisäksi on käytönvalvontajärjestelmän toimittava tehokkaasti ja luotettavasti myös silloin, kun jakeluverkossa on useita yhtäaikaista vikoja ja tapahtumia. Kytkentätilanteen hallinta on ensiarvoisen tärkeää turvallisuuden takia. Kytkentätilanteen menettäminen olisi erittäin vakavaa varsinkin suurhäiriötilanteessa. (Lakervi & Partanen 2008, s. 235–236)

### 2.3.2 Käytöntukijärjestelmä

Käytöntukijärjestelmä on käyttötoiminnan päätöksentekoa tukeva laaja ja monipuolinen tietojärjestelmä, joka tunnetaan kansainvälisesti nimellä DMS (*Distribution management system*). Sen perusajatuksena on yhdistää ja jalostaa sähköverkkoyhtiön muista tietojärjestelmistä saatavaa tietoa ja tarjota näin käyttötoimintaa avustavia sovelluksia ja toimintoja. Verrattuna käytönvalvontajärjestelmään, joka toimii vain ohjauksia ja tapahtumia tehokkaasti keräävänä ja välittävänä prosessitietokoneena, on käytöntukijärjestelmä monimutkaisempia analyysi- ja päättelytoimintoja sekä raportointi- ja suunnittelusovelluksia sisältävä ohjelmisto. Keskeisimmät integraatiot ovat käytöntukijärjestelmästä verkkotieto-, käytönvalvonta-, asiakastieto- ja karttatietojärjestelmiin. (Lakervi & Partanen 2008, s. 236) Erikseen mainittakoon liittynyt sähkömittareiden etäluentajärjestelmään, joka on merkittävästi parantanut muun muassa pienjänniteverkon valvontaa ja vikojen hallintaa (Trimble 2016).

Käytöntukijärjestelmä koostuu viidestä eri osasta, joita ovat käyttöliittymä, sovellukset, mallinnus- ja laskentamenetelmät, liittynät sekä tietolähteet ja muut tietojärjestelmät. Käyttöliittymän perusnäkymässä esitetään karttapohjalla aktiivinen verkkomalli, josta käy ilmi verkon kytkentätilanne ja sähkötekkinen tila. Verkkomallin staattinen osa on tuotu verkkotietojärjestelmästä. Tämä sisältää tiedot verkon komponenttien kytkeytymi-

sistä, ominaisuuksista ja maantieteellisistä sijainneista. Asiakas- ja mittaustietojärjestelmistä on tuotu tiedot asiakkaista ja kuormituksista. Verkkomallin dynaaminen osa tulee käytönvalvontajärjestelmästä saatavista reaaliaikaisista tila- ja mittaustiedoista, jotka käytöntukijärjestelmässä yhdistetään staattiseen verkkomalliin ja kuormitustietoihin. (Verho et al. 1997)

Käytöntukijärjestelmän sovellukset voidaan jakaa kolmeen pääkokonaisuuteen: verkon tilaseuranta, vikatilanteiden hallinta ja käytön suunnittelu. Verkon tilaseurannan sovellukset topologian ylläpito, reaaliaikainen sähköteknisen tilan laskenta sekä työryhmien sijaintitietojen hallinta ovat reaaliaikaiseen käytönvalvontaan tarkoitettuja sovelluksia. Niiden avulla pyritään minimoimaan verkon normaalista käytöstä aiheutuvia kuluja muun muassa kytkentätilannetta optimoimalla. Käytönvalvonnassa avustavat vikatilanteiden hallinnan sovellukset, joita ovat vian paikannus, automaattinen vian rajausta ja varasyöttöjen käyttö, häiriötiedottaminen, tapahtuma- ja keskeytysanalyysit sekä raportointi. Keskeytysten ja tapahtumien hallintaan liittyvät sovellukset ovat merkittävässä roolissa, sillä suurin osa asiakkaiden tiedottamisesta ja vikojen raportoinnista tapahtuu niiden avulla. Käytön suunnittelulle on huolto- ja kunnossapitotöiden kytkentäohjelmien suunnittelua varten oma sovellus. Kaikkien kolmen kokonaisuuden sovelluksissa tarvitaan mallinnus- ja laskentamenetelmiä. Tällaisia ovat muun muassa topologia-analyysi, vikavirta- ja tehonjakolaskenta sekä keskeytyskustannusten laskenta ja mallinnus. (Lakervi & Partanen, 2008 s. 237–239; Trimble 2016)

### 2.3.3 Asiakastietojärjestelmä

Perinteinen asiakastietojärjestelmä on tietokantapohjainen tietojärjestelmä, jossa ylläpidetään perustietoja sähköverkkoyhtiön asiakkaista ja sähkönkäyttöpaikoista. Sillä on pääsääntöisesti hoidettu laskutusta ja asiakaspalvelua. Sähkömarkkinoiden vapautumisen jälkeen asiakaskeskeisyys korostui sähköenergian myynissä, mutta se on noussut keskeiseen asemaan myös sähköjakeluverkkoliiketoiminnassa. Laskutuskeskeisiä asiakastietojärjestelmiä on kehitetty kokonaisvaltaisemmiksi asiakkuudenhallintajärjestelmiksi ja rinnalle on käyttöönotettu täysin asiakkuudenhallintaan (*CRM, Customer Relationship Management*) kehitettyjä järjestelmiä. Asiakastietojärjestelmässä on asiakkaan perustietojen hallinnan lisäksi toimintoja sopimusten, kulutushistorian, laskutus- ja maksutilanteen ja asiakaskontaktien kuten reklamaatioiden ja vikailmoitusten hallintaan. Ennen energian kulutuksen tuntiluontaa myös mittaustietoja hallittiin asiakastietojärjestelmässä. Tuntiluontaan siirtymisen jälkeen on mittausdatan määrä kasvanut niin merkittävästi, että sitä hallitaan omalla järjestelmällä tai tietokannalla, josta energiatietoja välitetään asiakastietojärjestelmälle. Asiakastietojärjestelmällä on tärkeä rooli verkostolaskennassa, jossa hyödynnetään asiakastiedoista saatavia käyttöpaikka-, kuluttajaryhmä- ja vuosien energiatietoja. (Toivonen 2004)

Koska käyttökeskuksesta valvotaan verkkoa ympäri vuorokauden, on se usein myös taho, joka hoitaa asiakaspalvelun aukioloaikojen ulkopuolella asiakkaiden palvelun.

Asiakastietojärjestelmä ei tarjoa suoranaisia toimintoja verkon valvontaan, mutta sen kautta saatavilla tiedoilla voidaan tarjota laadukasta asiakaspalvelua käyttökeskuksen toimesta myös asiakaspalvelun aukioloaikojen ulkopuolella.

### 2.3.4 Puhelinjärjestelmät

Puhelinjärjestelmät ovat käyttökeskuksessa merkittävässä roolissa sillä suurin osa kommunikaatiosta käydään maastossa työskentelevien asentajien, kantaverkkokeskuksen ja muiden verkkoyhtiöiden kanssa. Verkkoyhtiöstä riippuen on käyttötoiminnan käytössä yleensä joku tai jotkut seuraavista puhelinjärjestelmistä tai -verkoista: VIRVE-radiopuhelinverkko, oma analoginen tai digitaalinen radiopuhelinverkko, kiinteään verkkoon perustuvat puhelinjärjestelmät, satelliittipuhelin ja yleisiin verkkoihin perustuvat puhelinjärjestelmät (Tervo 2013). Puhelinjärjestelmä on usein toteutettu jonkin tyyppisenä ryhmäpuhelinjärjestelmänä. VIRVE-verkkoa käytettäessä tämä on toteutettu kiinteillä tai väliaikaisilla puheryhmillä, jotka toimivat kuin perinteinen radiopuhelin (Forsström 2007). Käytössä on myös erikseen käyttökeskuksille räätälöity ryhmäpuhelinjärjestelmä, joka sallii usean henkilön yhtäaikaisen keskustelun sekä tarjoaa apuvälineitä asentajien ohjaamiseen ja valvontaan (Capricode 2016).

### 2.3.5 Muut järjestelmät

Verkkotietojärjestelmä koostuu tietokannasta, tietokannan hallintajärjestelmästä ja sovellusohjelmista. Se toimii verkkotietojen dokumentointiympäristönä ja tietopankkina, joka on linkitetty useisiin muihin sähköverkkoyhtiön tietojärjestelmiin. Verkkotietojärjestelmän sovelluksia käytetään muun muassa verkostosuunnitteluun, -laskentaan ja kunnossapidonhallintaan. (Lakervi & Partanen, 2008 s. 265–268) Verkkotietojärjestelmä ei kuitenkaan tarjoa verkon reaaliaikaisen käytön kannalta merkittäviä lisäominaisuuksia käytöntukijärjestelmään nähden, minkä vuoksi sen käyttäminen käyttökeskuksessa on vähäistä.

Turvallisuuden ja laadun hallinta on käyttökeskuksen päivittäistä työtä, joten niihin liittyviä tietojärjestelmiä tarvitaan lähes päivittäin. Turvallisuuden- ja laadunhallintajärjestelmien toteutus vaihtelee verkkoyhtiöstä riippuen. Nämä järjestelmät eivät ole vain sähköverkkoliiketoiminnalle ominaisia järjestelmiä, joten niitä ei tässä yhteydessä yleisemmin tarkastella. Elenia Oy:llä käytössä olevaa turvallisuuden- ja laadunhallintajärjestelmää esitellään luvussa 5 käyttökeskustoiminnan mittaamisen käsittelyn yhteydessä.

Tässä työssä automaattisesta vianrajausjärjestelmästä käytetään nimitystä FLIR (*Fault detection, Location, Isolation and supply Restoration*). Se on Elenia Oy:n tapauksessa toteutettu käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmien avulla. Keskijänniteverkon vioissa käytönvalvontajärjestelmä havaitsee vian ja aktivoi FLIRin. Käytöntukijärjestelmä paikallistaa vian vikapaikkalaskennan perusteella, jos se on mahdollista, ja luo sen jälkeen

ohjaussekvenssin vikapaikan erottamiseksi muusta verkosta. Ohjaussekvenssi luodaan ennalta määrätyllä algoritmilla, jos vikapaikkaa ei ole tiedossa. Erotussekvenssin lisäksi käytöntukijärjestelmä suunnittelee palautussekvenssin sähköjen palauttamiseksi muuhun verkkoon. Palautussekvenssin suunnittelussa ja luonnissa käytöntukijärjestelmä suorittaa automaattisesti tarvittavat oikosulku- ja tehonjakolaskennat. Käytöntukijärjestelmä lähettää ohjaussekvenssit käytönvalvontajärjestelmälle. Käytönvalvontajärjestelmä tarkastaa onko ohjaussekvenssien suorittaminen mahdollista. Tähän vaikuttavat kytkinlaitteiden tilat sekä niille käytönvalvontajärjestelmässä annetut FLIRiin liittyvät määrittelyt. Käytönvalvontajärjestelmä suorittaa automaattisesti ohjaussekvenssien mukaisesti kaukokäyttöisten erottimien ja katkaisijoiden ohjaukset ilman käytönvalvojan toimenpiteitä. Käytönvalvojalla on kuitenkin koko ajan mahdollisuus keskeyttää ohjaussekvenssin suorittaminen. Suurin hyöty järjestelmästä saadaan tilanteissa, joissa verkossa tapahtuu useita yhtäaikaista vikoja, eivätkä käytönvalvojat pysty rajaamaan kaikkia vikoja samanaikaisesti. (Laine 2010)

## 2.4 Käyttökeskuksen tehtävät

Sähköverkkoyhtiön käyttökeskuksesta valvotaan sähkönjakeluverkkoa, ohjataan kytkinlaitteita ja johdetaan suunniteltuja töitä sekä vikojen korjausta. Käyttökeskuksessa työskentelevällä käytönvalvojalla tarkoitetaan tässä työssä sähkötyöturvallisuusstandardin (SFS 6002 2015) kohdassa 3.2.2 mainittua sähkölaitteiston käyttöä valvovaa henkilöä, jonka tehtävänä on vastata sähkölaitteiston turvallisesta käytöstä työn aikana. Käytönvalvoja toimii verkossa tehtävien töiden kytkennänjohtajana, joten merkittävin osa yhteydenpidosta tapahtuu maastossa työskentelevien asentajien kanssa. Käyttökeskuksesta ollaan yhteydessä muiden verkkoyhtiöiden valvomoihin ja kantaverkkokeskukseen käyttötoimintaa koskevissa asioissa. Seuraavissa luvuissa kerrotaan tarkemmin käytönvalvojien tehtävistä jakaen ne valvontaan, suunniteltujen töiden johtamiseen ja vikatilanteiden hallintaan. Luvut perustuvat omaan työkokemukseen käytönvalvojana sekä kirjallisuuslähteisiin. Luvuissa käsitellään käytönvalvojien nykyisiä perustehtäviä ja niiden toteuttamista tällä hetkellä. Tehtävät tulevat kuitenkin muuttumaan ja laajenemaan tulevaisuudessa toimintaympäristön muuttuessa. Jo tapahtumassa olevien muutoksien sekä kauemmas tulevaisuuteen ajoittuvien muutoksien vaikutusta käyttökeskuksen tehtäviin käsitellään luvussa kolme. Luvussa neljä pohditaan miten muutokset tulisi käyttökeskustoiminnassa huomioida ja millaisia asioita toiminnassa tulisi kehittää. Tehopulatilanteen hallintaa käsitellään vasta luvussa kolme, vaikka se on aina ollut käyttökeskustoimintaan liittyvä tehtävä. Tehopulatilanne on harvinainen tilanne, jonka todennäköisyys on kuitenkin viime vuosina kasvanut. Tämän vuoksi tehopulatilanteen hallinnan merkitystä korostetaan käsittelemällä sitä luvussa kolme muiden toimintaympäristön muutosten ohella.

### 2.4.1 Verkon valvonta

Käyttökeseuksen tärkeimpiin tehtäviin kuuluu verkon tilan jatkuva valvonta. Tämä sisältää verkon kuormituksen seurannan sekä suojaus- ja kytkinlaitteiden toiminnan seurannan. (Lakervi & Partanen 2008, s. 231–232) Käytönvalvontajärjestelmään verkosta ja sähköasemilta tulevien hälytysten, tapahtumien ja mittaustietojen avulla valvotaan keskijänniteverkkoa sekä suurjännitteistä jakeluverkkoa. Käytönvalvontajärjestelmän tarjoamat tiedot ovat ensisijaisesti käytönvalvojan päätöksentekoon vaikuttava tekijä. Tämän lisäksi tietoa verkon tilasta ja mahdollisista vioista saadaan asiakkaiden, ulkopuolisten henkilöiden sekä maastossa liikkuvien asentajien ilmoitusten perusteella. Esimerkiksi ennen AMR-järjestelmää pienjänniteverkon viat voitiin havaita vasta asiakkaan tekemästä vikailmoituksesta. Nykyisin verkon valvonta on huomattavasti laajentunut, kun AMR-järjestelmän avulla voidaan valvoa reaaliaikaisesti myös pienjänniteverkkoa.

### 2.4.2 Verkon rakennus- ja kunnossapitotyöt

Normaalina työaikana käyttökeseusta työllistää eniten suunniteltuihin töihin liittyvien kytkentöjen johtaminen. Tässä työssä suunnitelluilla töillä tarkoitetaan töitä, joista laaditaan ennalta kirjallinen kytkentäsuunnitelma eli niin sanottu kytkentäohjelma. Sähkötyöturvallisuusstandardin SFS 6002 kansallisesta lisävaatimuksesta tulee vaatimus laatia kirjallinen kytkentäohjelma kaikista suurjännitelaitteistoista (yli 1000 V vaihtojännite tai 1500 V tasajännite) koskevista kytkennöistä, lukuun ottamatta yksittäisten laitteiden kytkemisiä sekä häiriö- ja hätäkytkentöjä (SFS 6002 2015). Riippumatta siitä edellyttääkö työ sähkönjakelun keskeytystä vai ei, laaditaan siihen liittyvistä kytkennöistä kytkentäohjelma. Kytkentäohjelmat laaditaan joko käytönvalvojen itsensä toimesta tai suunnittelua päätoimisesti tekevien käytönsuunnittelijoiden toimesta. Myös urakoitsijat tekevät kytkentäsuunnitelmia, kun kyseessä on työ, joka ei vaadi useita kytkentätöimenpiteitä. Kytkentöjen suunnittelussa huomioidaan turvallisuustoimenpiteet, verkkopalveluehdot, käyttöstrategia sekä pyritään minimoimaan keskeytyksen aiheuttama haitta (Sihvonen 2015).

Jakeluverkossa tehdään suunniteltuja töitä useista eri syistä. Tällaisia ovat muun muassa uuden verkon osan liittäminen olemassa olevaan verkkoon, vuosihuollot, kunnossapidolliset toimenpiteet, raivaukset sekä kiireettömien vikojen korjaukset (Manninen 2014). Työstä riippuen siihen liittyvien kytkentätöimenpiteiden määrä voi vaihdella yhden muuntajaerottimen ohjauksesta aina useisiin kymmeneen kytkinlaitteiden ohjauksiin ja turvallisuustoimenpiteisiin. Kytkentöjen ja töiden suorittamisen luvista sekä niihin liittyvistä muista toimintaperiaatteista käytönvalvojan ja työn suorittavan työryhmän välillä on säädetty sähkötyöturvallisuusstandardin (SFS 6002 2015) luvuissa 4 – 7.

Kun työ on tarkoitus tehdä jännitteettömäksi kytkettävässä verkon osassa, tulee seuravat viisi tärkeää toimenpidettä aina suorittaa, jotta varmistutaan, että työkohte pysyy

jännitteettömänä koko työn ajan. Suoritusjärjestyksessä toimenpiteet ovat: täydellinen erottaminen, jännitteen kytkennän estäminen, laitteiston jännitteettömyyden toteaminen, työmaadoittaminen ja lähellä olevilta jännitteisiltä osilta suojaaminen (SFS 6002 2015). Standardin kohdassa 6.2 (SFS 6002 2015) on määritelty miten nämä toimenpiteet pitää tarkalleen toteuttaa. Toimenpiteet suoritetaan käytönvalvojan johtaessa kytkentöjä. Käytönvalvoja antaa valtuutuksen työn aloittamisesta työsuorituksesta vastaavalle henkilölle. Työsuorituksesta vastaavan henkilön tehtäviä hoitaa usein työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja. Käytönvalvojan antaman valtuutuksen jälkeen, paikan päällä työkohteessa oleva työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja antaa työntekijöille työn aloitusluvan. Kun työ on valmis ja on tarkastettu ettei työkaluja tai henkilöitä ole enää työkohteessa, voidaan aloittaa toimenpiteet jännitteen kytkemiseksi. Työnaikainen sähköturvallisuuden valvoja antaa tästä ilmoituksen käytönvalvojalle. Tämän jälkeen töiden tekeminen kohteessa ei ole enää sallittua. Jännitteen kytkeminen tehdään purkamalla edellä tehtyjen toimenpiteiden vaikutukset. Kun yhdenkin turvallisuuteen vaikuttavan toimenpiteen vaikutus loppuu, tulee verkkoon suhtautua jännitteisenä. Ensimmäisenä puretaan työmaadoitukset, jonka jälkeen poistetaan lukitukset ja merkinnät jännitteen kytkennän estämiseksi. Lopuksi kytketään jännite verkon osaan sitä rajanneella erottimella. Korostetaan vielä lopuksi, että kaikkien toimenpiteiden suorittamiseen, ennen käytönvalvojan antamaa valtuutusta työn aloittamiseksi ja työn valmistumisesta ilmoittamisen jälkeen, tarvitaan kytkennänjohtajan eli tässä tapauksessa käytönvalvojan lupa. (SFS 6002 2015)

### 2.4.3 Vikojen hallinta

Jakeluverkossa esiintyvät viat voidaan jakaa suur-, keski- ja pienjänniteverkon vikoihin sekä sähköasemavikoihin. Vianhoitoprosessiin ja sen käynnistämiseen vaikuttaa se, millä jännitetasolla vika ilmenee. Prosessin käynnistämiseen vaikuttavat eroavaisuudet jännitetasojen verkkotopologioissa ja erilaisten automaatiotoimintojen määrissä. Omana vikojen kokonaisuutenaan voidaan pitää sellaisia uhkaavia tai kiireittämiä vikoja, jotka eivät heti aiheuta sähkönjakelun keskeytystä, mutta aiheuttavat riskin verkon vikaantumiselle.

Tieto keskijänniteverkon vioista saadaan käytönvalvontajärjestelmän kautta tapahtumana ja hälytyksenä katkaisijan laukeamisesta. Osa vioista poistuu automatiikan toimesta pika- tai aikajälleenkytkennän jännitteettömänä aikana. Jos vika ei poistu jälleenkytkennöillä, jää vika niin sanotusti pysyväksi, jolloin se vaati toimenpiteitä joko automatiikalta tai käytönvalvojalta. Katkaisijan lauetessa perustuu käytöntukijärjestelmään vian hallintaa varten keskeytys ja jännitteetön alue visualisoituu verkkokartalle. Kaikki vikaan liittyvät kytkinlaitteiden ohjaukset ja toiminnot kirjautuvat käytöntukijärjestelmän tapahtumapäiväkirjaan ja liittyvät kyseiseen keskeytykseen. Käytönvalvoja kirjaa vikaan liittyvät tiedot käytöntukijärjestelmään perustuneelle keskeytykselle. Käytönvalvontajärjestelmästä saadaan tieto siitä, mikä suojausasettelu on laukaisun aiheuttanut. Oi-

kosulkuvioissa on usein käytössä käytöntukijärjestelmästä saatava laskennallinen vika-paikka. Muita vianpaikannuksessa hyödynnettyjä tietolähteitä ovat:

- vikaindikaattorit
- asiakasilmoitukset
- käytöntukijärjestelmän verkkokartta maastotietoineen
- johtolähdön keskeytyshistoria
- häiriötallenteet
- ukkostutka
- säätiedot

Jos vikapaikkatietoa ei saada tai pystytään päättämään edellä listattujen tietolähteiden avulla, ryhdytään viallista johtolähtöä rajaamaan kaukokäyttöisillä erottimilla. Keski-jännitejohtolähdön vianrajausta tehdään vyörytys- ja puolitusmenetelmillä. Vyörytysmenetelmässä kytketään jännite verkkoon erotinväli kerrallaan sähköasemalta lähtien. Jos katkaisija pysyy kiinni kytkettäessä jännite erotinvälille, tiedetään, että välillä ei ole vikaa ja jännitteen palauttamista jatketaan kohti johtolähdön loppupäätä. Sen sijaan jos katkaisija laukeaa kytkettäessä erotinvälille jännite, tiedetään, että viallinen erotinväli on löytynyt. Kyseistä menetelmää käytettäessä saadaan viallinen erotinväli selville yhdellä kokeilukytkennällä. Menetelmä on kuitenkin aikaa vievä varsinkin laajojen johtolähtöjen tapauksissa, joissa erotinvälejä on kymmeniä ja vika pahimmassa tapauksessa johtolähdön perällä viimeisellä erotinvälillä.

Toinen metodi vianrajaukseen on puolitusmenetelmä. Siinä nimensä mukaisesti potentiaalinen vika-alue puolitetaan sopivassa kohdassa olevalla erottimella ja jännite kytketään puolikkaalle, usean erotinvälin sisältävälle verkon osalle. Riippuen siitä laukeaako katkaisija vai ei, selviää kummalle puolikkaalle vikapaikka jää ja kumpi puolikas on kunnossa. Puolitusmenetelmä on nopea laajojen johtolähtöjen rajauksessa, koska sen avulla saadaan selville vähillä kytkennöillä laajoja viattomia verkon osia, joille jännite voidaan palauttaa. Toisaalta tätä menetelmää käytettäessä vikapaikan löytämiseksi joudutaan tekemään useampia kokeilukytkentöjä, koska viallista puolikasta joudutaan edelleen rajaamaan. Useita kokeilukytkentöjä tehtäessä tulee myös huomioida verkon ja sen komponenttien oikosulkukestoisuus.

Käytännön vianrajaus onkin kahden edellä esitellyn menetelmän tapauskohtaista yhdistelyä siten, että sähköjen palautus tapahtuu nopeasti kuitenkin välttämällä kokeilukytkennöistä aiheutuvaa asiakashaittaa. Vikapaikka haetaan ensin kauko-ohjauksia hyödyntäen kaukokäyttöerotinvälin tarkkuudelle. Kaukokäyttöisen vianrajauksen tekee joko käytönvalvoja tai automaattinen vianrajausjärjestelmä, jos tällainen on käytössä. Tämän jälkeen vianrajaus jatkuu käyttökeskuksen johdossa käsikäyttöisillä erottimilla maastossa asentajien toimesta. Vikapaikan löydyttyä, se erotetaan muusta verkosta käyttökeskuksen ohjeiden mukaisesti. Käyttökeskuksen johdossa työryhmä koestaa jännitteettömyyden työkohteena olevasta verkon osasta ja asentaa päätyömaadoitukset. Kun kaikki käyttökeskuksen vastuulla olevat kytkentä- ja turvallisuustoimenpiteet on tehty, antaa



käyttökeskus työryhmälle työnvalmisteluvan. Tämän jälkeen työkohteen muista turvallisuustoimenpiteistä ja lisätyömaadoituksista vastaa työkohteessa fyysisesti paikalla oleva työnaikainen sähköturvallisuuden valvoja. Vian korjauksen jälkeen työnaikainen sähköturvallisuuden valvoja antaa käyttökeskukselle käyttöönottoluvan korjatulle verkon osalle. Käyttökeskuksen luvalla poistetaan päätyömaadoitukset ja suoritetaan palautuskytkennät, joilla verkko palautetaan normaaliin kytkentätilanteeseen. Jos vauriot ovat suuria ja korjauksen katsotaan kestävän kohtuuttoman kauan, pyritään sähköt palauttamaan vika-alueen asiakkaille varavoimakoneilla vian korjauksen ajaksi.

Suurjännite- ja sähköasemavioissa keskeytyksen kokevia asiakkaita on lähes poikkeuksetta huomattavasti suurempi määrä kuin keskijännitevioissa. Suurjännitteisen jakeluverkon johdon vikaantuessa keskeytyy sähkönjakelu kaikilla kyseisen johdon syöttämällä sähköasemilla. Jos 110 kV johtoa syöttävä katkaisija laukeaa, pyritään vikapaikka paikallistamaan vikapaikkalaskennan ja partioinnin avulla. Kokeilukytkennöillä ei ole saavutettavissa vastaavaa hyötyä vian paikantamiseksi kuin keskijänniteverkossa, koska erottimia johtokilometrille on 110 kV verkossa vähemmän. Sähköasemavioissa käytönvalvontajärjestelmään saadaan tarkat hälytys- ja tapahtumatiedot, joiden avulla voidaan päätellä, mihin osaan sähköaseman kenttää tai kojeistoa vika paikallistuu. Tärkeä tehtävä kyseisissä vioissa on sähkönjakelun nopea palauttaminen keskijänniteverkon varayhteyksiä hyödyntäen, koska sähköttömiä asiakkaita saattaa olla tuhansia. Sähköasemille ja 110 kV voimajohdoille paikallistuvat viat pystytään lähes aina erottamaan muusta verkosta siten, että sähkönjakelu asiakkaille saadaan palautettua varayhteyksillä.

Pienjänniteverkon viat eroavat edellä esitetyistä vioista siinä, että niiden alkamisesta ei kaikissa tapauksissa saada automaattisesti tietoa käyttökeskukseen. Perinteisesti pienjänniteverkon viat ovat tulleet verkkoyhtiön käyttökeskuksen tietoon vasta asiakasilmoitusten kautta. Käytössä on nykyisin käytöntuki- ja AMR-järjestelmien integraatioon perustuvia sovelluksia, joiden avulla saadaan hälytys heti, kun asiakkaan etäluettava sähkömittari havaitsee puuttuvan vaiheen, jännite-epäsymmetriaa tai yli- tai alijännitteitä. Hälyttävien mittareiden sijaintien perusteella voidaan päätellä, missä osassa pienjänniteverkkoa vika todennäköisesti sijaitsee. Pienjänniteverkon vikojen selvityksessä ensimmäinen vaihe on asiakasilmoituksen tai etäluettavan mittarin hälytyksen perusteella päätellä todennäköinen vikapaikka. Tämän jälkeen kirjataan vikailmoitus sekä perustetaan keskeytys käytöntukijärjestelmään. Pienjännitevioissa asentaja lähetetään paikantamaan vikaa kyseisestä muuntopiiristä tai suoraan käyttöpaikalta, josta vikailmoitus on tullut. Pienjänniteverkon vioista on harvoin tarjolla muuta automaation tarjoamaa tietoa kuin etäluettavien mittareiden lähettämät hälytykset. Tästä syystä vianpaikannus tapahtuu suurilta osin maastossa tehtävällä partioinnilla ja mittauksilla.

Kaikissa sähkönjakelun keskeytyksen aiheuttavissa vioissa asiakkaita tiedotetaan vian syystä ja korjauksen aikataulusta käytöntukijärjestelmän tekstiviestijärjestelmän ja automaattisen puhelinvastaajajärjestelmän avulla. Keskijänniteverkon vioissa käytöntukijärjestelmään perustuu automaattisesti keskeytys katkaisijan lauetessa. Tällöin sähkö-

katkon syystä ja arvioidusta kestosta kertovat tekstiviestit tai sähköpostit lähtevät asiakkaille automaattisesti. Pienjänniteverkon vioissa tiedotteet lähtevät vasta, kun tieto viasta on saatu käyttökeskukseen ja keskeytys on perustettu käytöntukijärjestelmään manuaalisesti. Nykyisin tärkeässä roolissa ovat myös verkkoyhtiöiden sähkökatkokartat Internetissä. Sähkökatkokartalta asiakkaat näkevät oman alueensa vikatilanteen ja vikojen korjausaika-arviot sekä huoltokatkot reaaliajassa. Tiedusteluja ja vikailmoituksia varten verkkoyhtiöillä on käytössä edelleen normaali vikapuhelinpalvelu sekä tuoreimpina kanavina web- ja mobiilisovellukset.

### 3. TOIMINTAYMPÄRISTÖN MUUTOSTEN VAIKUTUS KÄYTTÖKESKUSTOIMINTAAN

Sähkönjakeluverkkoliiketoiminta on muun energia-alan tavoin käymässä läpi murrosta. Hajautetun tuotannon määrä jakeluverkoissa on kasvanut ja on odotettavissa, että tulevana vuosikymmeninä sen määrän kasvu tulee vaikuttamaan sähkönjakelujärjestelmän käyttöön tavoilla, joita luvussa 3.1 käsitellään. Hajautetun tuotannon määrän kasvuun vaikuttavat muun muassa poliittiset päätökset sekä teknologian ja markkinoiden kehitys. Nämä tekijät voivat aiheuttaa huomattavia muutoksia hajautetun tuotannon kasvun nopeudessa. Sähkönjakeluverkkoihin tehdään korvausinvestointeja sähkönjakelun toimitusvarmuuden parantamiseksi enemmän kuin koskaan ennen. Laajan maakaapeloinnin vaikutuksia käyttökeskustoimintaan käsitellään luvussa 3.2. Jakeluverkon ollessa entistä säävarempaa, on markkinoilla olevasta energiantuotannosta tullut puolestaan sääriippuvaisempaa. Tehopulatilanteen todennäköisyys Suomessa on kasvanut ja herättänyt, sääilmiöiden aiheuttamien sähkönjakelukeskeytyksien ohella, keskustelua yhteiskunnan sähköriippuvuudesta. Yhteiskunnan sähköriippuvuuden merkitystä käyttökeskustoiminnassa pohditaan luvussa 3.3. Vuonna 2015 Ukrainassa koettiin tiettävästi ensimmäinen sähkönjakelun keskeyttänyt sähkönjakeluverkkoon kohdistettu kyberhyökkäys. Se on esimerkki sähkönjakelujärjestelmien tietoteknisestä haavoittuvuudesta, johon sähköverkkoyhtiöiden tulee vastata ajantasaisella ja kokonaisvaltaisella tieto- ja kyberturvallisuudella. Luvussa 3.4 käsitellään sähkönjakeluverkkojen käyttökeskustoiminnan erityispiirteitä tieto- ja kyberturvallisuuden näkökulmasta.

#### 3.1 Hajautettu sähköntuotanto

Hajautetulla sähköntuotannolla tarkoitetaan yleensä pientuotantoa, jota on liitetty eri puolille jakeluverkkoa ja jonka ajoa ei ole keskitetysti suunniteltu. Hajautetulle tuotannolle ei ole lainsäädännön kautta yksiselitteistä määritelmää, mutta voimalan tehon ylärajaksi on useissa hajautettua ja pientuotantoa koskevissa selvityksissä valittu arvo 1-20 MW väliltä. (Vihanninjoki 2015) Pienimuotoiselle sähköntuotannolle on sen sijaan annettu sähkömarkkinalaissa (588/2013) määritelmäksi kahden megavoltiampeerin maksimi teho, joka koskee yksittäistä voimalaitosta tai voimalaitosten kokonaisuutta. Energiateollisuuden (2016a) mukaan mikrotuotannoksi määritellään yleensä sellainen tuotanto, jossa tuotantolaitos on nimellisteholtaan korkeintaan 100 kilovoltiampeeria. Tyypillisesti mikrotuotantolaitokset ovat kuitenkin teholtaan joitakin kilowatteja tai kymmeniä kilowatteja (Energiateollisuus 2016a). Tässä työssä hajautetulla tuotannolla tarkoitetaan Ackermann et al. (2001) esittämän määritelmän mukaista sähköntuotantoa, joka on liitetty suoraan sähkönjakeluverkkoon tai sähkönjakeluverkkoon liittyneen asi-

akkaan oman verkon puolelle. Hajautetusta tuotannosta puhuttaessa ei siis oteta kantaa tuotantolaitoksen nimellistehoon.

Vuonna 2016 julkaistussa Roadmap 2025 -hankkeessa (Roadmap 2016) on esitetty sähkömarkkina- ja verkkovisio vuodelle 2035 sekä kehityspolku vuoteen 2025 asti. Visiossa arvioidaan ohjaamattoman sähköntuotannon kattavan tulevaisuudessa merkittävän osuuden energiantuotannosta. Energiavarastojen ja aurinkovoimateknologian yhä halventuessa on nähty uutena merkittävänä ilmiönä kuluttajien energiaomavaraisuuden lisääntyminen. Jakeluverkon kautta siirrettävän energian määrä tulee pitkällä aikavälillä tarkasteltuna vähentymään, koska yhä suurempi osa kulutetusta energiasta tuotetaan paikallisesti lähellä kulutusta. Sääriippuvaa hajautettua tuotantoa, eli tuuli- ja aurinkovoimaa, oletetaan olevan jakeluverkossa niin merkittävässä määrin, että niiden tuotannon vaihtelut saattavat näkyä ongelmina sähkön laadussa sekä tehotasapainossa. Tulevaisuudessa jakeluverkkoyhtiöiden tulee hakea yhdessä tuottajien kanssa ratkaisuja näihin ongelmiin. (Roadmap 2016)

Suomi on mukana EU:n päästötavoitteissa, joiden päämääränä on vähentää kasvihuonepäästöjä sekä lisätä uusiutuvan energiantuotannon osuutta kulutuksesta. Hallituksen kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa vuoteen 2030 (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016) on asetettu tavoitteeksi kasvattaa uusiutuvan energian käytön osuus yli 50 prosenttiin 2020 luvulla. Tämän lisäksi strategiaan on kirjattu tavoite hajautetun sähkön tuotannon edistämisestä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016). Nämä tavoitteet ja niiden pohjalta tehtävät kansalliset poliittiset päätökset vauhdittavat osaltaan hajautetun sähköntuotannon yleistymistä.

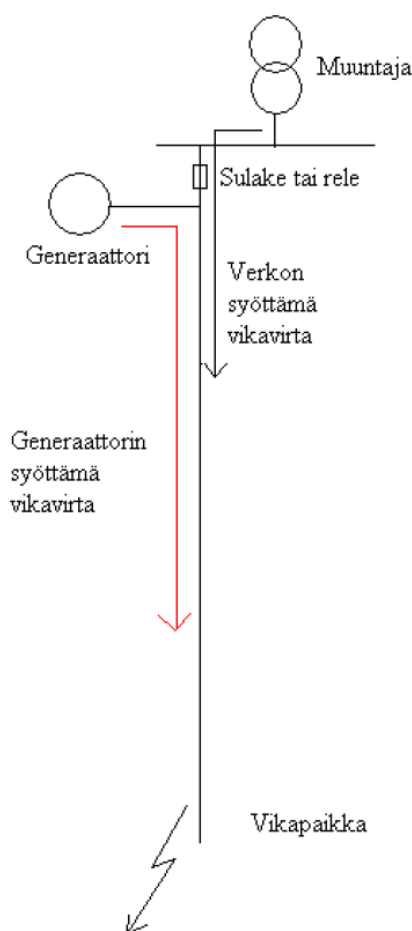
Jakeluverkossa tehon suunta on perinteisesti ollut yhteen suuntaan sähköasemalta kuluttajalle. Jakeluverkko ja sen suojaukset on suunniteltu tällaista verkon säteittäistä käyttöä varten. Hajautetun tuotannon lisääntyessä tulevat yleistymään tilanteet, jolloin tehon suunta onkin tuotantoa sisältävästä jakeluverkosta kohti sähköasemaa tai tuotantoa omistavan asiakkaan liittymispisteestä kohti jakelumuuntajaa. Vikatilanteissa hajautetun tuotannon yksiköt toimivat uusina vikavirran lähteinä. Nämä asiat vaikuttavat perustavanlaatuisesti jakeluverkon ja sen suojausten suunnitteluun, mutta myös verkon käyttöön. Käyttökeskuksen näkökulmasta jakeluverkon käyttö tulee monimutkaistumaan hajautetun tuotannon lisääntyessä. Toisaalta aktiivisesti hyödynnettynä hajautettu tuotanto tarjoaa lisäpalveluita, jotka mahdollistavat jakeluverkon tehokkaamman käytön. (Repo et al. 2005)

### **3.1.1 Vaikutukset jakeluverkon suojaukseen**

Jakeluverkon suojaus tulee hajautetun tuotannon myötä monimutkaistumaan, koska teho ja vikavirrat alkavat siirtymään verkossa kaksisuuntaisesti. Lisäksi sääriippuvaisista tuotantomuodoista johtuen syötettävän tehon suuruus tulee vaihtelevaan entistä huomattavammin. Lehto muistuttaa diplomityössään (2009), että uuden tuotantolaitoksen

liittyessä verkkoon tulee syöttävän verkon releiden asettelut ja sulakkeiden koot tarkastaa. Jos suojaustarkasteluja ei tehdä, saattaa jakeluverkon suojausten toiminnassa ilmetä ongelmia, joita seuraavassa käydään läpi. (Lehto 2009 s. 49)

Turvallisuuden kannalta kriittisimpiä ovat suojauksen herkkyysongelmat. Hajautetun tuotannon tuottamat vikavirrat saattavat hidastaa jakeluverkon releen tai sulakkeen toimintaa tai pahimmillaan estää sen kokonaan. Ilmiötä kutsutaan suojauksen sokaistumiseksi. Suojauksen sokaistuminen voi tapahtua kuvassa 3 esitettyssä tilanteessa, jossa generaattori ja taustaverkko syöttävät vikapaikkaa rinnakkain. Kuvassa 3 on esitetty punaisella generaattorin tuottamaa vikavirtaa ja mustalla syöttävän taustaverkon tuottamaa vikavirtaa. Generaattorin syöttämä vikavirta pienentää suojaavan releen tai sulakkeen havaitsemaa taustaverkon syöttämää vikavirtaa. (Mäki et al. 2005)



**Kuva 3.** Suojauksen sokaistumis-ilmiö oikosulkuviassa (Lehto 2009)

Ilmiön voimakkuuteen vaikuttavat verkon rakenne, generaattori tyyppi sekä vikapaikka. Näillä kaikilla tekijöillä on vaikutus vikavirtapiiriin impedanssien jakaantumiseen ja sitä kautta suojauksen havaitsemaan vikavirtaan. Tilanne on ongelmallisoin 2-vaiheissa oikosuluissa, vikaimpedanssiltaan suurissa oikosulkuviadoissa sekä tilanteissa, joissa vikapaikan ja syöttävän verkon välille jää useita tuotantolaitoksia. Generaattorityyppi vai-

kuttaa sokaistumisen todennäköisyyteen, koska tyypistä riippuen niillä on erilaisia vikavirransyöttökykyjä. Pisimpiä aikoja vikavirtaa pystyvät syöttämään tahtigeneraattorit ja kestromagnetoidut epätahtigeneraattorit, joten tämän tyyppiset generaattorit ovat todennäköisimpiä aiheuttamaan suojauksen täydellisen toimimattomuudet. Vähintäänkin suojauksen toiminnan hidastumista aiheuttavat verkkomagnetoidut epätahtigeneraattorit, jotka kykenevät syöttämään vikavirtaa lyhyen ajan. Suoraan verkkoon liitettyjen generaattorien lisäksi hajautettua tuotantoa liitetään jakeluverkkoon tehoelektronikalla toteutettujen muuntimien kautta, joiden vikavirran syöttökyvyt vaihtelevat suuresti niiden toteutuksesta riippuen. (Mäki et al. 2005; Mäki 2007)

Suojauksen täydellisen sokaistumisen vaara on suurin, kun keskijänniteverkon suojauksessa käytetään vakioaikatoimintaisia releitä. Tämä johtuu siitä, että suojaus ei toimi ollenkaan, jos mitattu virta jää alle suojauksen asetteluarvon. Käänteisaikatoiminnallisuuden perustuvassa relesuojauksessa saattaa suojauksen toiminta hidastua suunniteltua enemmän, jolloin ongelmaksi syntyvät verkon oikosulkukestoisuuksien ylitykset ja turvallisuusvaatimukset. Sokaistumisilmiö voi esiintyä myös pienjänniteverkossa, jossa suojaus on normaalisti toteutettu sulakkeilla. (Mäki et al. 2005) Lehdon diplomityössä (2009, s. 52–61) suoritetuissa laskelmissa kuitenkin havaittiin, että pienjänniteverkon puolella sokaistumisilmiö on epätodennäköinen. Tämän katsottiin johtuvan siitä, että pientuotantoa tulisi olla teholtaan moninkertaisesti suhteessa syöttävän jakelumuuntajan näennäistehoon. Pienjännitepuolella todennäköisemmäksi ongelmaksi Lehto (2009) näkikin laskelmiensa perusteella virhelaukaisun mahdollisuuden, jota käsitellään myöhemmin tässä luvussa. Hajautetun tuotannon aiheuttama mitattujen vikavirtojen pienentäminen aiheuttaa ongelmia myös oikosulkuvikojen laskennallisessa paikannuksessa. Paikannus perustuu releen mittaamaan oikosulkuvirran ja verkostolaskennasta saatujen tulosten vertailuun. Jos hajautetun tuotannon aiheuttamaa muutosta mitatussa vikavirrassa ei oteta huomioon, saadaan laskennalla virheellinen vikapaikka. Tämän huomioon ottaminen vianpaikannusalgoritmeissa saattaa olla haasteellista, koska esimerkiksi pienten tuotantolaitosten osalta ei tiedetä, ovatko ne liittyneenä verkkoon juuri vian alkamishetkellä. (Mäki 2007)

Herkkyysongelmien lisäksi hajautettu tuotanto voi aiheuttaa suojauksen selektiivisyysongelmia. Selektiivisyysongelmilla tarkoitetaan suojauksen toimintoja tilanteissa, joissa suojauksen ei ole suunniteltu toimivaksi. Verrattuna suojauksen sokaistumiseen tämä ei aiheuta turvallisuuden näkökulmasta yhtä vaarallisia tilanteita, koska suojaus kuitenkin toimii. Sen sijaan taloudellisesta ja sähköverkon toimitusvarmuuden näkökulmasta ilmiö on ongelmallinen. Hajautetun tuotannon aiheuttamia virhelaukaisutilanteita on kahden tyyppisiä, joista toinen liittyy sähköverkkoyhtiön toteuttamaan suojaukseen ja toinen tuotantolaitoksen suojaukseen. Verkkoyhtiöiden asiakkaiden kannalta haittaa aiheutuu tilanteista, joissa hajautettua tuotantoa sisältävä viaton johtolähtö laukeaa, kun samalta sähköasemalta syötetyllä toisella johtolähdöllä on vika. Tätä kutsutaan yleisemmin sympatialaukaisuksi. (Mäki 2007, s. 24–25) Tilannetta on havainnollis-



et al. 2008). Tuotantolaitoksien tarpeettomat laukeamiset verkosta aiheuttavat ennen kaikkea taloudellista haittaa tuottajalle myymättä jääneen energian muodossa. Myöskään verkkoyhtiön näkökulmasta tuotantolaitoksen äkillisestä irtoamisesta verkolle aiheutuvat nopeat jännitteen ja tehon heilahtelut eivät ole toivottavia, koska ne saattavat näkyä asiakkaille sähkön laatuongelmina.

Eräs hajautettua tuotantoa sisältävän jakeluverkon suojaukseen liittyvä ongelma on jälleenkytkentöjen epäonnistuminen. Jälleenkytkentä voi epäonnistua tapauksessa, jossa johtolähdöllä sijaitseva tuotantolaitos jää syöttämään vikavirtaa ja ylläpitämään jännitettä vikapaikassa. Valokaari vikapaikassa ei näin ollen pääse sammumaan jälleenkytkennän jännitteettömänä aikana ja vika jää pysyväksi. Ongelma on todennäköisin pikajälleenkytkennöissä, koska niiden jännitteetön aika on vain sekunnin kymmenyksiä. Tuona aikana tuotantolaitoksen pitäisi ehtiä irrota verkosta ja vikapaikan valokaaren sammua. Teknisestä näkökulmasta aikajälleenkytkennöissä on tuotantolaitoksen suojauksella useita kymmeniä sekunteja aikaa havaita saareketilanne ja laukaista tuotantolaitos verkosta. Turvallisuuden näkökulmasta saarekekäyttötilanne tulee kuitenkin havaita nopeammin, jotta esimerkiksi maasulkutilanteissa tuotantolaitos ei jää syöttämään vikapaikkaa ja aiheuta vaarallisia kosketusjännitteitä. Saareketilanne voi kuitenkin olla vaikea havaita jos tuotantolaitoksen syöttämä teho vastaa hyvin lähelle saarekkeen kuormitusten kuluttamaa tehoa. Jos tuotantolaitos ei irtoa verkosta jälleenkytkennän jännitteettömänä aikana, voi generaattori lähteä kiihtymään tai hidastumaan riippuen tuotantolaitoksen ja kuormitusten tehojen suhteesta. Tästä aiheutuu tilanne, jossa jakeluverkon ja tuotantolaitoksen syöttämän saarekkeen jännitteet voivat olla vastakkaisvaiheiset jälleenkytkennän loppuhetkellä katkaisijan sulkeutuessa. Tilanne vastaa oikosulkua ja saattaa aiheuttaa verkossa jännitteen ja virran transientteja sekä mekaanisia rasitteita pyöriville generaattoreille ja moottoreille. (Kumpulainen & Kauhaniemi 2004)

Hajautetun tuotannon vaikutus jakeluverkon maasulkusuojaukseen riippuu verkon maadoitustavasta. Suomessa jakeluverkot ovat pääosin maasta erotettuja tai suuren impedanssin kautta maadoitettuja sammutettuja verkkoja. Hajautetun tuotannon generaattorit kytketään useimmiten verkkoon kolmio-tähtikytkentäisen (*Dyn-kytkentä*) muuntajan kautta, jossa tähtipiste on maadoitettu alajännitepuolelta. Nollaverkko jakeluverkon ja tuotantolaitoksen välillä siis katkeaa muuntajalla. Tästä johtuen hajautettu tuotanto ei vaikuta jakeluverkon maasulkusuojauksen toimintaan, mutta toisaalta tuotantolaitoksen näkökulmasta maasulkutilanteiden havaitseminen on hankalaa ja sitä joudutaan lähestymään saarekekäytön eston näkökulmasta. Jos tuotantolaitoksen suojaus ei havaitse maasulkua, on vaarana, että tuotantolaitos jää ylläpitämään jännitettä maasulkupaikassa. Tilanne voi aiheuttaa turvallisuusriskin erityisesti keskitetyssä verkossa, jossa sähköaseman kiskosta irti laukaistu verkon osa jää toimimaan maasta erotetuksi saarekkeeksi. Tästä voi aiheutua askel- ja kosketusjännitteiden nousu sallittujen raja-arvojen yläpuolelle. (Mäki 2007)



Edellä mainittujen ongelmien lisäksi muita tahattoman saarekekäytön aiheuttamia ongelmia ovat turvallisuusriskit jakeluverkossa työskenteleville asentajille sekä saarekkeen mahdollisesti heikko sähkönlaatu. Näiden riskien ja ongelmien takia saarekekäytön esto on toteutettava luotettavasti kaikissa hajautetun tuotannon yksiköissä. (Raipala et al. 2013) Tahattomia saarekekäyttötilanteita voi syntyä esimerkiksi seuraavissa lähteissä (Walling & Miller 2002) esitetyissä tapauksissa:

- maasulkuviassa, jossa tuotantolaitos on kytkeytyneenä vikapaikkaan nähdessä siten, että nollaverkko ei ole yhtenäinen eikä tuotantolaitos näin ollen syötä maasulkuvirtaa vikapaikkaan
- jos tuotantolaitos on kytketty verkkoon yksivaiheisesti ja jompikumpi kahdesta muusta vaiheesta vikaantuu
- vika, jossa valokaari sammuu, kun jakeluverkon suojaus toimii ja katkaisee taustaverkon syöttämän vikavirran ja tuotantolaitos jää syöttämään pientä vikavirtaa.

Tahattomia saarekekäyttötilanteita voi syntyä myös ilman, että verkon osan irti kytkeytymistä edeltäisi vika (Walling & Miller 2002). Esimerkiksi verkon rakennus- ja kunnossapitotöiden takia kytketään verkon osia usein tarkoituksella manuaalisesti jännitettömiksi.

Raipala et al. (2012) mukaan saarekekäytön estosuojaus voidaan jakaa neljään eri toteutustapaan, joita ovat aktiivinen, passiivinen, hybridi ja tietoliikennepohjainen menetelmä. Aktiivisessa menetelmässä tuotantolaitoksen syötössä aiheutetaan verkkoon pieniä virran tai taajuuden muutoksia ja seurataan niihin saatavia vasteita, kuten taajuuden tai tehon muutosta. Kun tuotantolaitos syöttää verkkoa rinnan taustaverkon kanssa, ei seurattavissa vasteissa tapahdu suuria muutoksia. Jos puolestaan syntyy saareketilanne, vasteissa tapahtuu suuria muutoksia, jotka suojaus havaitsee ja tuotantolaitos laukaitaan verkosta. Aktiivisissa menetelmissä käytettävät verkkoon syötettävät muutokset saattavat kuitenkin aiheuttaa normaalitilassa sähkönlaatu ongelmia. (Zeineldin et al. 2006) Passiivista menetelmää pidetään halvimpana ja yksinkertaisimpana ratkaisuna saarekekäytön estosuojaukseen. Se perustuu verkosta paikallisesti mitattavien arvojen tarkkailuun, joiden tiedetään muuttuvan, kun verkon osa irtoaa tuotantolaitoksen syöttämäksi saarekkeeksi. Tällaisia mitattavia arvoja ovat esimerkiksi jännite ja taajuuden muutosnopeus. Passiivisten menetelmien ongelmana on niiden heikkous havaita tilanteita, joissa saarekkeeseen siirrytään tuotantoa sisältävän verkon osan ollessa lähellä tehotasapainoa. Englanniksi tästä niin sanotusta havaitsemattomasta alueesta käytetään nimitystä *NDZ (non-detection zone)*. Hybridi menetelmässä on yhdistetty aktiivi- ja passiivi menetelmien parhaita puolia siten, että valittua aktiivista menetelmää aletaan käyttää vasta, kun mittauksilla on havaittu viitteitä mahdollisesta saarekekäyttötilanteesta. Ainoa mittauksista riippumaton ja tehotasapainon aiheuttaman havaitsemattoman alueen välttävä menetelmä perustuu tietoliikenteeseen. Tietoliikenteeseen perustuvasta saarekekäytönestön suojausmenetelmästä käytetään Suomessa lyhennettä *EVY (eroonkytken-*

*nän viestiyhteys*) (Fingrid 2016a). Siinä sähköasemalta välitetään tieto johtolähtöä suojaavan katkaisijan toiminnasta kyseisellä johtolähdöllä sijaitseville tuotantolaitoksille.

### 3.1.2 Jakeluverkon turvallinen käyttö

Hajautetun tuotannon yleistymiseen jakeluverkossa liittyy turvallisuuskysymyksiä sekä riskejä jakeluverkon turvallisen käytön kannalta (Lehto 2009, s. 65). Jakeluverkossa jännitteettömänä tehtävissä huolto- ja viankorjaustöissä noudatetaan sähkötyöturvallisuusstandardin (SFS 6002 2015) luvun 6.2 vaatimuksia. Standardin (SFS 6002 2015) luvusta 6.2.2 tulee vaatimus työkohteen täydellisestä erottamisesta kaikista syötöistä. On huomioitavaa, että tuotantolaitos tulee vielä erikseen erottaa työkohteesta, vaikka se olisi jo irronnut jakeluverkosta tuotantolaitoksen oman suojauksen toimittua. Keskijänniteverkossa työkohteen erottaminen tarkoittaa sitä rajaavien erottimien avaamista ja pienjänniteverkossa lähtöä syöttävien sulakkeiden poistamista muuntamolta tai jakokaapilta.

Standardista SFS 6000 (2012) tulee vaatimus, että jakeluverkon kanssa rinnan toimivat generaattorilaitteistot tulee olla varustettu erotukseen soveltuvilla laitteilla, jotka ovat jatkuvasti jakeluverkonhaltijan käytettävissä. Näin varmistutaan, että verkonhaltijalla on aina mahdollisuus erottaa tuotantolaitos jakeluverkosta turvallisen työskentelyn takaamiseksi, esimerkiksi kiireellisessä viankorjauksessa. Jakeluverkkoon liitettyjen tuotantolaitosten määrän kasvaessa myös erotettavien takasyötön mahdollisuuksien määrä johtolähdöillä kasvaa.

Energiateollisuuden verkostosuosituksessa (Energiateollisuus 2011) suositellaan verkko-yhtiöitä ylläpitämään tietojärjestelmissään seuranta- ja mikrotuotantolaitoksista sekä kehittämään tietojärjestelmiä siten, että ne mahdollistavat mikrotuotantolaitosten merkitsemisen. Jakeluverkkoon liitettyjen tuotantolaitosten dokumentointiin ja visualisointiin tulee kiinnittää erityistä huomiota käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmissä, koska niiden avulla käytönvalvoja hahmottaa työkohteesta erotettavat syöttösuunnat ja kertoo ne asentajalle. Sähkönjakeluverkkoon ei saa kytkeä tuotantolaitosta ilman verkonhaltijan lupaa (Energiateollisuus 2016b). Tästä huolimatta Lehdon (2009, s. 12) diplomityössä tehdyssä kyselyssä havaittiin, että jakeluverkkoihin on hyvin todennäköisesti liittyneenä pientuotantoa, josta verkonhaltijoilla ei ole tietoa. Tämä aiheuttaa turvallisuusriskin, koska luvattomasti verkkoon liitettyjä tuotantolaitoksia ei ole dokumentoitu verkkoyhtiön tietojärjestelmiin eikä niitä näin ollen välttämättä huomata erottaa työkohteesta.

Jakeluverkkoon liitettävän tuotannon liittymisohjeissa vaaditaan, että tuotantolaitos ei saa jäädä syöttämään verkon osaa, kun sitä ei syötetä muualta (Energiateollisuus 2016c). Luvussa 3.1.1 esiteltyjen suojaukseen liittyvien ongelmien takia on kuitenkin mahdollista, että tahattomia saarekekäyttötilanteita voi syntyä, vaikka todennäköisyys tälle saattaakin olla pieni. Toisaalta pienten hajautettujen tuotantolaitosten määrän li-

sääntyminen kasvattaa todennäköisyyttä johtolähdön sisäiselle tehotasapainotilanteelle, jolloin myös riski tahattomalle saarekekäytölle kasvaa. Hajautetun tuotannon ja kuormituksen suhdetta on tarkkailtava aina tapauskohtaisesti, jotta voidaan tehdä riskiarvio tahattoman saarekekäytön syntymisen todennäköisyydestä. Jakeluverkon turvallisen käytön kannalta tahattomat saarekekäytöt aiheuttavat riskin, joka voi realisoituessaan aiheuttaa vakavia seuraamuksia, kuten henkilövahinkoja tai laiterikkoja. Tahattomissa saarekekäyttötilanteissa riskin aiheuttaa myös se, että verkkoyhtiön näkökulmasta jännitteettömiksi oletetussa verkon osassa onkin jännite. Toisaalta noudattamalla tarkasti turvallisuustoimenpiteitä, syöttöjen erottamista, jännitteettömyyden koestamista ja työkohteen maadoittamista, voidaan hajautettua tuotantoa sisältävässä jakeluverkossa toimia yhä turvallisesti. Tärkeää on myös tuoda jakeluverkkoon liitettyjen tuotantolaitosten suojaavien kytkinlaitteiden tilatiedot sekä mittaustietoja verkkoyhtiön käytönvalvontajärjestelmään. Näin käytönvalvoja voi havaita saarekekäyttötilanteen heti sen syntyessä.

### 3.1.3 Mahdollisuudet jakeluverkon käytölle

Vaikka hajautettu tuotanto monimutkaistaa jakeluverkon käyttöä, tarjoaa se myös palveluita, joita jakeluverkon käytössä voidaan hyödyntää. Hajautetun tuotannon tarkoituksellisella ja hallitulla saarekekäytöllä voidaan lyhentää asiakkaiden sähkökatkoja ja näin parantaa sähkönjakelun toimitusvarmuutta. Tulevaisuuden näkymissä ovat mikroverkot, jotka syöttävän jakeluverkon vikaantuessa voisivat irrottautua omaksi saarekkeekseen, jossa sähkön jakelu jatkuisi paikallisen tuotannon avulla. Jakeluverkon käytönvalvonnan kannalta huomioon otettavia ja ratkaistavia asioita ovat muun muassa saarekkeen sähkön laadun valvonta, saarekkeen jakeluverkosta irtautuminen ja takaisin kytkeytyminen sekä suojausten toiminnan varmistaminen. Hajautettua tuotantoa voidaan myös hyödyntää erityisesti suuressa kuormassa olevien pitkien johtolähtöjen jänniteprofiilin parantamisessa. Johtolähdön perälle liitetty voimalaitos syöttää osan kuormien pätö- ja loistehosta, näin pienentäen johdolla kulkevaa virtaa ja johtolähdön perällä koettua jännitteenalenemaa. Myös johdolla syntyvät tehohäviöt pienevät, koska johdolla kulkeva virta pienenee hajautetun tuotannon syöttäessä osaa kuormituksesta. (Chiradeja & Ramakumar 2004)

Vaikka hajautettu tuotanto periaatteellisella tasolla tarkasteltuna tarjoaa sähköverkkoyhtiön käyttötoiminnalle teknisiä lisäresursseja, eivät resurssit ole koko ajan käytettävissä eivätkä ilmaisia. Pienimuotoinen hajautettu tuotanto pääsee tarjoamaan palveluitaan markkinoille aggregaattorin kautta. Aggregaattorin pääasiallinen tarkoitus on hallita pienistä hajautetun tuotannon yksiköistä muodostettua virtuaalivoimalaitosta (*VPP, Virtual Power Plant*) ja käydä sähkömarkkinoilla kauppaa sen tuottamalla sähköllä ja palveluilla. Aggregaattori voi tarjota hajautetun tuotannon mahdollistamia palveluja muille sähkömarkkinaosapuolille. Tällaisia palveluita jakeluverkkoyhtiöille voivat olla esimerkiksi jännitteensäätö tai häviöiden pienentäminen. (Valtonen & Honkapuro 2010) Vir-

tuaalivoimalaitoksen hallitseminen vaatii jokaisen siinä olevan pienen tuotantoyksikön ohjaamista. Jakeluverkkoyhtiöiden omistama etäluettavista sähkömittareista muodostuva infrastruktuuri mahdollistaa jo nyt sähkönkäyttöpaikkojen kuormanohjausta, minkä vuoksi sitä on pidetty potentiaalisena alustana pienten tuotantolaitosten ohjauksien toteuttamiselle. Jakeluverkkoyhtiö ei kuitenkaan voi osallistua sähkömarkkinoille, minkä vuoksi se voi vain tarjota kommunikaatioalustan aggregaattorille. (Valtonen & Honkapuro 2010) Jakeluverkkoyhtiö on sen sijaan aktiivisemmassa osassa, kun tarkastellaan voidaanko hajautetulla tuotannolla syöttää verkkoon tehoa aggregaattorin ennusteiden mukaisesti. Ikäheimo et al. (2010) kutsuvat tätä tarkastelua raportissaan jakeluverkkoyhtiön hajautetun tuotannon palveluiden validoinniksi. Jakeluverkkoyhtiön tulee hyväksyä aggregaattorin suunnitelma hajautettujen tuotantolaitosten ajoista, jotta voidaan varmistua, että niistä ei aiheudu sähkön laatuongelmia esimerkiksi yli- tai alijännitteiden muodoissa. Tämän tarkastelun tekeminen on haasteellista ja sisältää useita huomioon otettavia asioita. (Ikäheimo et al. 2010)

On tärkeää, että hajautetun tuotannon verkkoon liittäminen ja sen tarjoamien palveluiden toteutus on teknisesti huolellisesti suunniteltu. Ilman huolellista suunnittelua ja toteutusta hajautetusta tuotannosta saattaa aiheutua jakeluverkolle hyötyjen sijaan haittoja, kuten sähkön laatuongelmia ja turvallisuusriskejä. (Walling et al. 2008)

## **3.2 Laajamittainen maakaapelointi**

Sähkönjakeluverkkojen laajamittainen maakaapelointi sekä automaation kehittyminen ja yleistyminen parantavat jakeluverkon toimitusvarmuutta. Maakaapeloinnilla ja automaation lisääntymisellä on myös muita vaikutuksia verkon käyttöön. Verkon käyttö tulee olemaan entistä joustavampaa ja tehokkaampaa. Esimerkiksi sähköasemien korvaaminen jakeluverkon varasyöttöyhteyksien kautta on helpompaa ja nopeampaa lisäntyneiden kauko-ohjattavien erottimien ansiosta. Haasteita tulevat kuitenkin aiheuttamaan maakaapelien suurista kapasitansseista johtuvat kapasitiivisen loistehon ja maasulkuvirtojen kasvaminen. Kompensoinnilla tarkoitetaan tässä työssä sekä loistehon että maasulkuvirtojen kompensointia asiayhteydestä riippuen.

### **3.2.1 Maasulkuvirtojen kompensointi**

Maasulkuvirtoja on perinteisesti kompensoitu keskitetysti sähköasemalle asennettavalla Petersén kelalla ja sen säätölaitteistolla. Petersén kelasta käytetään tavallisemmin nimitystä kompensointikela tai sammutuskela. Keskitetysti kompensoitua verkkoa kutsutaan myös sammutetuksi verkoksi, koska ilmajohtoverkoissa siitä saatu keskeinen hyöty on maasulusta aiheutuvien valokaarien sammuttaminen, joka vähentää jälleenkytkentöjä huomattavasti. Maakaapeliverkoissa tämä ei ole enää kompensoinnin keskeisin tehtävä, vaan kompensointia tulee olla ensisijaisesti suurien maasulkuvirtojen rajoittamiseksi.

Keskitetty kompensointi on ennen riittänyt suppeiden kaapeliverkkojen sekä laajojen ilmajohtoverkkojen maasulkuvirtojen kompensointiin, koska maasulkuvirrat ovat olleet maltillisia. Ilmajohtoverkkoon verrattuna maakaapelien tuottama maasulkuvirta on kuitenkin moninkertainen. Laajempien maaseutuverkkojen kaapeloinnissa onkin havaittu, että keskitetyn kompensoinnin kapasiteetti jää kaapeloinnin edetessä nopeasti liian pieneksi. Tämän lisäksi pitkällä maakaapelilähdöillä kaapelin pitkittäisimpedanssi alkaa vaikuttaa siten, että maasulkuvirran resistiivinen komponentti kasvaa merkittäväksi, eikä tähän voida keskitetyllä kompensoinnilla vaikuttaa. Maasulkuvirran resistiivinen komponentti vaikuttaa maasulkutilanteissa syntyvien kosketusjännitteiden suuruuksiin ja on tämän takia kasvaessaan ongelmallinen. Keskitetyn kompensoinnin kapasiteettien riittämättömyys ja maasulkuvirran resistiivisen osan rajoittamisen tarve ovat vaikuttaneet hajautetun kompensoinnin yleistymiseen. (Vehmasvaara 2013)

Hajautetun kompensoinnin ideana on kompensoida maakaapeliosuuden tuottama kapasitiivinen maasulkuvirta paikallisesti. Hajautetussa kompensoinnissa pieni Petersén kela on kytketty jakelumuuntajan yhteyteen ja se on mitoitettu kompensoimaan sen lähellä olevan kaapeliosuuden tuottama maasulkuvirta. Vaikutus maasulkuvirran resistiivisen komponentin pienentämiseen pitkällä maakaapelilähdöillä perustuu hajautetun kompensoinnin lisäämään rinnakkaisimpedanssiin. Suuremman rinnakkaisimpedanssin myötä pitkittäisimpedanssin vaikutus pienenee. (Guldbrand 2009) Etuna on myös se, että paikallisesti kompensoitu verkon osa ei aiheuta keskitetyn kompensoinnin vajautta tai ylikompensointia, jos verkon osa kytkentämuutoksissa siirretään eri sähköaseman syöttöön.

Maasulkuvirtojen kompensointilaitteistoilla vaikutetaan maakaapelien synnyttämiin suuriin maasulkuvirtoihin, jotta niistä ei aiheudu turvallisuusriskejä ja suojausongelmia kosketusjännitteiden muodossa. Jos maasulkuvirtoja ei kompensoida, tulee verkon maadoitukset olla mitoitettu riittävän suuria maasulkuvirtoja vastaaviksi. Elenia Oy:n tapauksessa noin 90 % uuden maakaapeliverkon tuottamasta maasulkuvirrasta kompensoidaan hajautetusti (Syvälä 2016). Vaikka suurin osa uuden maakaapeliverkon tuottamasta maasulkuvirrasta kompensoidaan hajautetusti jakeluverkkojen varsille jakelumuuntajien yhteyteen asennetuilla kompensointimuuntajilla, ei jäljelle jäävän maasulkuvirran keskitetyn kompensoinnin merkitystä voida jättää huomiotta. Koska lähes koko jakeluverkko tullaan kaapeloimaan, tarkoittaa 10 prosenttia jäljelle jäävästä maasulkuvirrasta useiden satojen ampeerien keskitetyn kompensointikapasiteetin tarvetta. Tämän keskitetyn kompensointikapasiteetin oletetaan maadoituksia mitoitettaessa olevan koko ajan käytössä. Tästä syystä kompensointilaitteiston oikeaan tilaan ja säätöön tulee kiinnittää huomiota yhä enemmän.

Sammutettua jakeluverkkoa käytetään Suomessa hiukan alikompensoituna, eli sähköasemalla sijaitseva säädettävä Petersén kela viritetään tuottamaan maasulussa induktiivista virtaa galvaanisesti kytköksissä olevan verkon tuottamaan kapasitiiviseen maasulkuvirtaan nähden noin 95 %. Viritys tapahtuu automaattisesti säätälaitteistolla, joka

havaitsee verkon resonanssipisteen nollajännitettä mittaamalla. (Pekkala 2010) Kompensaatioasteen säätö on tärkeää maasulkusuojauksen toiminnan kannalta, koska suojaus perustuu nollavirran ja nollajännitteen väliseen kulmaeroon. Jos verkko esimerkiksi säätälaitteiston toimintahäiriön tai manuaalisen säädön takia on ylikompensoidussa tilassa, saattaa maasulkusuojaus toimia vikatilanteessa epäselektiivisesti. Ylikompensoidussa tilanteessa kela synnyttää enemmän induktiivista virtaa kuin on tarve verkon tuottaman kapasitiivisen maasulkuvirran kompensointiin. Tästä johtuen maasulkuvirta on induktiivista ja virran kulma nollajännitteeseen verrattuna saattaa kasvaa niin suureksi, että alikompensoidulle sammutetulle verkolle aseteltu johtolähdön maasulkusuojaus ei havaitse vikaa. Tällöin maasulku havaitaan vasta kiskomaasulkusuojauksella, joka perustuu pelkän nollajännitteen mittaamiseen. Kiskomaasulkusuojaus laukaisee kiskoa syöttävän katkaisijan, jolloin sähköt katkeavat myös muilta johtolähdöiltä. (Vehmasvaara 2013) Jos verkko on puolestaan liian alikompensoidussa tilassa tai kompensointi verkosta häviää kokonaan, esimerkiksi laiteaurion takia, syntyy turvallisuusriski, koska maasulkuvirrat ovat vikatilanteissa suunniteltua suurempia ja näin myös kosketusjännitteet saattavat kasvaa sallittua suuremmiksi.

### 3.2.2 Loistehon kompensointi ja jännitteen nousu

Maakaapelit tuottavat ilmajohtoihin verrattuna enemmän kapasitiivista loistehoa. Kapasitiivisen loistehon suuruus riippuu käyttöjännitteestä. Jakeluverkon jännite ei normaali käyttötilanteessa vaihtelee merkittävästi, joten maakaapelien tuottama kapasitiivinen loisteho pysyy lähes vakiona. Sen sijaan kaapelien tuottama induktiivinen loisteho on sidoksissa kuormitusvirtaan, joka vaihtelee jakeluverkossa huomattavasti jännitettä enemmän. Kuormitusta jolla kaapelin tai johdon tuottama induktiivinen ja kapasitiivinen loisteho kumoavat toisensa kutsutaan luonnolliseksi tehoksi. Kenttälä toteaa diplomityössään (2016), että maaseutuverkossa maakaapelit toimivat käytännössä lähes koko ajan aliluonnollisella teholla ja näin ollen tuottavat kapasitiivista loistehoa verkkoon.

Vuoden 2017 alusta portaittain voimaan tulevat Fingridin asettamat liittymispistekohtaiset loissähkömaksut ovat vauhdittaneet loistehon kompensointiratkaisujen suunnittelua ja käyttöönottoa verkkoyhtiöissä. Maksuista huolimatta on kasvavan loistehon määrä jakeluveroissa ongelma, johon on ryhdytty reagoimaan. Jakeluverkon liittymispisteille kantaverkkoon on määritetty loistehoikkunat, joiden ylityksistä Fingrid perii loissähkömaksua, kuitenkin tapauskohtaiset lievennykset huomioiden (Fingrid 2016c). Tämä ohjaa verkkoyhtiöitä kompensoimaan laajenevien maakaapeliverkkojensa tuottamaa loistehoa omassa verkossaan. Kenttälä on diplomityössään (2016) suositellut Elenian verkkoon asennettavaksi keskitettyä loistehon kompensointia. Parhaaksi vaihtoehdoksi hän on havainnut kooltaan 3 MVar reaktorin, joka liitetään sähkö- tai kytkinasemalla 20 kV puolelle. Loistehon kompensoinnille on tarve taloudellisten syiden lisäksi jännitteen nousun rajoittamiseksi. Sähköasemalle sijoitettavalla reaktorilla voidaan rajoittaa jännitteen nousua tiettyyn rajaan asti. Tähän asti lähinnä siirtoverkoissa vaikuttanut Ferranti -

ilmiö alkaa vaikuttaa myös jakeluverkon pitkillä maakaapelia sisältävillä johtolähdöillä. Ilmiöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa johdon loppupään jännite on johdon syöttävän päään jännitettä korkeampi. Ilmiö johtuu kevyesti kuormitetun pitkän johdon tai maakaapelin synnyttämästä varausvirrasta. Kevyen kuormituksen aikaan yli 100 km pituisilla maakaapelilähdöillä on Ferranti -ilmiöstä johtuva jännitteen nousu johdon loppupäässä jo niin merkittävää, että sitä on järkevä kompensoida hajautetuilla ratkaisuilla. Johtolähdön varsille sijoitettavilla pienemmillä reaktoreilla voidaan taata parempi sähkön laatu, mutta ne eivät nykyisellään ole riittävän edullisia loistehon kokonaisvaltaiseksi kompensointiratkaisuksi. (Kenttälä 2016)

### 3.3 Yhteiskunnan sähköriippuvuus

Yhteiskunnan sähköriippuvuus on kasvanut ja tulee yhä kasvamaan, sillä kriittiset yhteiskunnalliset toiminnot tarvitsevat toimiakseen sähköistä tiedonsiirtoa ja sähköisessä muodossa olevia tietovarastoja. Riippuvuus sähköstä korostuu erityisesti pitkissä ja laajoissa sähkönjakelun keskeytyksissä, kun yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittiset toiminnot vaarantuvat. Esimerkiksi terveyskeskukset ja sairaalat tarvitsevat sähköä toimiakseen täysillä valmiuksilla. Tärkeimmät terveydenhuollon kohteet on varustettu omilla varavoimakoneilla, mutta niiden avulla ei pystytä ylläpitämään kaikkia toimintoja. Vesi- ja jätevesihuollossa pumput ja puhdistuslaitteet tarvitsevat sähköä toimiakseen. Vesilaitokset ovat parantaneet varautumistaan sähkökatkoihin hankkimalla omia varavoimakoneita ja rakentamalla niille liityntöjä, mutta laajan vesihuoltojärjestelmän varustaminen täydellisesti varavoimakapasiteetilla ei ole taloudellisesti kannattavaa. Tämän vuoksi laajat ja pitkät sähkönjakelun keskeytykset aiheuttavat ongelmia vesi- ja jätevesihuollossa. (Turvallisuuskomitea 2015)

Tele- ja viestiliikenne on täysin sähköstä riippuvaa. Yhteydet on jaettu eri luokkiin niiden maantieteellisen kattavuuden ja liikennemäärien perusteella. Tärkeimmät tietoliikenneverkon kohteet tulee olla varustettu kiinteillä varavoimakoneilla tai riittävän suurilla akustoilla. Suurimpien käyttäjämäärien puhelin- ja tietoliikenne tarvitsee toimiakseen tukiasemia, puhelinkeskittimiä ja laajakaistakeskittimiä, joiden toiminta on varmennettu vain muutaman tunnin kestäväillä akustoilla. Pitkittyvissä sähkökatkoissa etenkin haja-asutusalueella puhelin- ja tietoliikenteen ylläpitäminen voi olla hankalaa, koska siirrettäviä varavoimakoneita ei ole kaikkiin kohteisiin ja resurssit koneiden siirtämiseen ovat rajalliset. Sähköistä maksuliikennettä ei ole varmennettu varavoimalla sähkökatkojen varalle. Pitkissä katkoissa maksaminen voi käydä ongelmalliseksi, kun pankit joutuvat sulkemaan konttorinsa eikä käteistä rahaa saa verkkosähkön varassa olevilta pankki-automaateilta. Kotitalouksissa useat erilaiset laitteet toimivat sähköllä. Jääkaapit ja pakastimet sulavat useita tunteja kestävässä sähkökatkoissa. Joidenkin kiinteistöiden tapauksessa myös lämmitys on täysin sähkön varassa. Pakkasjaksolle osuva pitkittyvä sähkökatkos voi synnyttää jopa evakuointi tarpeita kohteista, jotka ovat pelkän sähkölämmityksen varassa. Edellä esitettyjen kokonaisuuksien lisäksi on yhteiskunnassa monia

muuta sähköstä riippuvaisia osa-alueita, joita on käsitelty tarkemmin Turvallisuuskomitean julkaisemassa selvityksessä (Turvallisuuskomitea 2015).

Vuonna 2013 julkaistussa uudessa sähkömarkkina-laissa (588/2013) on asetettu jakeluverkon toiminnalle laatuvaatimuksia, jotka suoraan kuvastavat yhteiskunnan sähköriippuvuuden kasvamista. Lain (588/2013) mukaan myrskystä tai lumikuormasta ei saa aiheutua sähkönkäyttäjälle yli 6 tunnin keskeytystä asemakaava-alueella eikä yli 36 tunnin keskeytystä asemakaava-alueen ulkopuolella. Näiden vaatimusten täyttämiseksi vuoden 2028 loppuun ulottuvan siirtymäajan puitteissa, tehdään jakeluverkoissa merkittäviä korvausinvestointeja. Korvausinvestointien vaikutuksia käyttökeskustoimintaan käsiteltiin luvussa 3.2. Keskeytyksiä kuitenkin yhä aiheutuu sekä siirtymäaikana että sen jälkeen, minkä vuoksi laissa (588/2013) esitettyihin laatuvaatimuksiin on vastattava myös muilla tavoin.

Eräs keino pitkien sähkönjakelun keskeytysten vähentämiseksi on entistä tehokkaampi varavoiman hyödyntäminen. Varavoiman käyttämisen mahdollisuutta sähköjen palauttamiseksi tulee korostaa viankorjausta maastossa tekeville urakoitsijoille, joilla on paras käsitys varavoiman käyttämisen järkevyydestä ja mahdollisuuksista kussakin tapauksessa. Käyttökeskuksen rooli varavoiman hyödyntämiseen kannustamisessa on kuitenkin tärkeä. Koska varsinaisen vikapaikan korjaus tapahtuu maastossa urakoitsijoiden toimesta, ei käyttökeskuksella ole siihen kuluvaan aikaan huomattavia vaikutusmahdollisuuksia. Sen sijaan käytössä olevia tietojärjestelmiä ja muita työkaluja hyödyntäen, vikapaikan rajaaminen ja paikantaminen sekä vikaan liittyvien tietojen välittäminen urakoitsijalle on käyttökeskuksesta toteutettava vaatimusten kiristytessä yhä tehokkaammin ja nopeammin. Käytönvalvojien työkalut vikojen tehokkaampaan hoitamiseen ovat yhä parempia verkostoautomaation kehittyessä. Muun muassa vikaindikaattorien avulla saadaan tarkempaa tietoa vikapaikoista, jolloin vikojen rajaaminen kaukokäyttöisillä erottimilla voidaan suorittaa entistä tehokkaammin asiakashaittaa minimoiden, kun kokeilukytkennöiltä vältytään. Toisaalta, tiukentuvista kriteereistä ja sähköriippuvuuden lisääntymisestä huolimatta, on keskeytysten hoitaminen aina ollut luonteeltaan tehtävä, jossa pyritään sähköjen palauttamiseen turvallisesti ja mahdollisimman nopeasti käytössä olevien järjestelmiä ja työkaluja hyödyntäen. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö käyttökeskuksen osuutta keskeytysten hoitamisen prosessista tulisi seurata ja kehittää. Käyttökeskustoiminnan mittaamista käsitellään tarkemmin luvussa 5.

### 3.3.1 Tehopulatilanne

Teho- tai sähköpulatilanteella tarkoitetaan tilannetta, jossa sähkönkulutusta ei pystytä kattamaan sähkön tuotannolla ja tuonnilla. Tällöin on tarve rajoittaa sähkönkulutusta kytkemällä sitä irti verkosta. Kantaverkkoyhtiö Fingrid valvoo ja ylläpitää Suomen sähkövoimajärjestelmän tehotasapainoa. Fingrid luo ennusteen tulevien vuorokausien sähkönkulutuksesta ja tuotannosta. Kulutuksen ja tuotannon suhteen kaventuessa, käyttää Fingrid kolmiportaista menettelyä. Alimmalla tasolla sähköpulatilanne on mahdollinen,



kun kotimainen tuotanto ja sen lisäksi sähköntuonti ulkomailta siirtoyhteyksillä eivät riitä kattamaan kulutusta lähitunteina tai vuorokausina. Toisella portaalla sähköpulatilanteen riski on suuri, kun kaikki kotimainen sähköntuotanto on käytössä, naapurimaista ei voida siirtää enempää sähköä ja Fingrid on joutunut käynnistämään varavoimalaitoksia tehotasapainon ylläpitämiseksi. Kolmas porras on sähköpulatilanne, jolloin tehotasapainon ylläpitämiseksi on jouduttu kytkemään irti sähkönkulutusta. (Fingrid 2016b)

Sähkönjakeluverkkoyhtiöt toimivat kiristyneessä tehotilanteessa ja varsinaisessa tehopulatilanteessa ennalta laadittujen ohjeistusten ja kantaverkkokeskuksen koordinoinnin mukaisesti. Kiristyneessä tehotilanteessa valmiutta tehopulatilanteessa toimintaan kasvatetaan. Tilanteen kiristyessä ensimmäisiä käyttötoimenpiteitä ovat varavoimalaitosten käynnistämiset kantaverkkokeskuksen pyynnöstä. Tällöin ollaan Fingridin määrittämän portaikon toisella tasolla. Tehopulatilanteen realisoituessa kulutuksen irti kytkeminen aloitetaan sieltä, missä tehovaje on paikallisesti suurin. Nopean palautuksen vuoksi rajoitukset kohdistetaan sähkönjakeluverkkoon ja aloitetaan käytännön syistä suurimmista jakeluverkonhaltijoista, kuitenkin tasapuolisuus huomioiden (Fingrid 2016b). Kolmannella portaalla, kantaverkkokeskuksen ilmoituksesta, jakeluverkkoyhtiöt irti kytkävät kulutusta alueeltaan ennalta tehtyjen toimintaohjeiden mukaisesti. Jakeluverkkoyhtiöiden toimintaohjeet tehopulatilanteissa on toimitettu kantaverkkokeskukselle. Kulutuksen irtikytkennästä ja muusta tehopulatilanteiden hallintaan liittyvästä on ohjeistettu tarkasti Fingridin ohjeessa (Fingrid 2016b) sidosryhmille.

Ohjeessa (Fingrid 2016b) käsitellään jakeluverkkoyhtiön käyttökeskuksen kannalta oleellisia kulutuksen irtikytkentään liittyviä asioita, joita on seuraavassa referoitu. Kantaverkkokeskuksen ilmoituksessa jakeluverkkoyhtiön käyttökeskukseen kerrotaan rajoitettavan tehon määrä megawateissa sekä rajoituksen alkamis- ja päättymisajankohta. Rajoitus voi olla myös toistaiseksi voimassa oleva tai se voidaan pyytää alkamaan välittömästi. Irti kytketty kulutus voidaan kytkeä takaisin verkkoon, kun ennalta ilmoitettu rajoituksen loppumisajankohta umpeutuu tai, kun kantaverkkokeskus soittamalla ilmoittaa toistaiseksi voimassa olevan rajoituksen päättymisestä. Jakeluverkonhaltijan tulee ilmoittaa kantaverkkokeskukselle, jos rajoitusta ei pystytä toteuttamaan. Kantaverkkokeskus voi erittäin kiireellisissä tilanteissa kytkeä kulutusta irti ja ilmoittaa tästä välittömästi jälkikäteen verkonhaltijalle. (Fingrid 2016b)

Jakeluverkoissa pyydetty rajoitus voidaan toteuttaa verkonhaltijan päättämällä tavalla. Rajoitus pyritään toteuttamaan asiakashaitta minimoimalla ja välttämällä sähkönjakelun kannalta kriittisten asiakkaiden kuten sairaaloiden ja terveyskeskusten kulutuksen rajoittamista. Pitkittyvissä tehopulatilanteissa kulutuksien rajoitusta jaksotetaan siten, että paikalliset yhtäjaksoiset keskeytykset eivät kestä kohtuuttoman kauan. Käyttökeskuksen vastuulla on toteuttaa kulutuksen irtikytkentä näiden toimintamallien mukaisesti. Tähän liittyviä käyttökeskuksen työkaluja käsitellään luvussa 4.2.4.

### 3.4 Tieto- ja kyberturvallisuus

Yleisesti teollisuusautomaatiota, eli myös sähköjakelua, koskevat kyberturvallisuusuhat ja -riskit ovat viime vuosina lisääntyneet. Myllylän sähköverkkojen kyberturvallisuutta käsittelevässä diplomityössä (Myllylä 2014) todetaan, että kyberhyökkäysten määrä infrastruktuuria vastaan on kasvanut. Osoituksena tästä ovat vuonna 2010 Iranin ydinvoimaloissa havaittu Stuxnet-haittaohjelma sekä tietävästi ensimmäinen sähköjakelun keskeyttänyt vihamielinen kyberhyökkäys Ukrainassa vuonna 2015 (SANS 2016). Lisäksi Yhdysvaltain teollisuusautomaation kyberturvallisuustyöryhmä toteaa ohjeistuksessaan (ICS-CERT 2016), että viime vuosien aikana huoli kyberhyökkäyksistä on kasvanut ja kyberlähtöiset vaaratilanteet kriittisen infrastruktuurin sektorilla ovat lisääntyneet.

Sähköjakelujärjestelmä on laaja kyberfyysinen järjestelmä. Se koostuu laajalle maantieteelliselle alueelle sijoitetuista fyysisistä komponenteista ja laitteista, joiden hallinta on nykyisin yhä enemmän riippuvaista tietojärjestelmistä ja tietokoneista (Koponen 2010). Jos tieto- ja kyberturvallisuus on sähköjakelujärjestelmässä toteutettu puutteellisesti, voi sillä olla vakavia seurauksia, joita Koposen (2010) mukaan ovat muun muassa:

- sähköjakelun keskeytyminen eri mittakaavoissa
- henkilö- ja laitevahingot jos suojausjärjestelmät eivät toimi suunnitellusti
- hyökkäyksen kohteena olevan järjestelmän tarjoamat reitit muihin järjestelmiin
- luottamuksellisten ja kaupallisten tietojen vuotaminen tai muuttuminen
- viranomaisvalvontaan liittyvien tietojen muuttuminen

Kyberturvallisuus voidaan nähdä osana laajempaa tietoturvallisuutta. Tietoturvallisuus on laajempi käsite ja se sisältää kaikki osa-alueet, joilla pyritään estämään missä tahansa muodossa olevan tiedon tuhoutuminen, muuttuminen tai joutuminen väärille tahoille. Kyberturvallisuus keskittyy enemmän sähköisessä muodossa olevan tiedon ja tietojärjestelmien turvaamiseen vihamielisten uhkien minimoimiseksi. (Tervo 2013) Tässä työssä ei tarkastella verkostoautomaation tietoturvaan liittyviä teknisiä ominaisuuksia, vaan keskitytään enemmän käyttökeskushenkilöstön tieto- ja kyberturvallisuus tietämyksen edistämiseen. Tietoturvallisuus onkin teknisten ratkaisuiden lisäksi myös hallinnollisista, fyysisistä ja henkilöstöön liittyvistä osa-alueista koostuva kokonaisuus, joka voi tarjota organisaatiolle kilpailuetua lainsäädännöllisten velvoitteiden toteuttamisen lisäksi (Immonen 2015).

Sekä Stuxnet-haittaohjelmassa että Ukrainan sähköverkkoihin kohdistuneessa kyberhyökkäyksessä on molemmissa hyödynnetty järjestelmien käyttäjistä johtuvia haavoituvuuksia. Stuxnet-haittaohjelma on alun perin lähtenyt leviämään Iranin ydinvoimalan automaatiojärjestelmään liitetyn saastuneen USB-tikun välityksellä. Sen tarkoituksena on ollut etsiä automaatiojärjestelmästä tietyn tyyppistä teollisuudessa käytettyä ohjauslogiikkaa, jonka koodia se on ohjelmoitu muuttamaan. Haittakoodilla on muutettu auto-

maatiojärjestelmän välittämiä mittaustietoja siten, että prosessia valvova operaattori ei ole voinut huomata virhettä prosessissa. (Falliere et al. 2011)

Ukrainan sähkönjakeluverkkoihin kohdistetussa kyberhyökkäyksessä murtautuminen järjestelmään aloitettiin sen sijaan verkkoyhtiöiden henkilöstöille kohdistetuilla kalaste-lusähköposteilla. Sähköpostit sisälsivät Black Energy 3 nimisellä haittaohjelmalla saas-tutettuja Microsoft Office -tiedostoja. Tiedostoa avattaessa makrotoimintojen salliminen asensi käyttäjän tietämättä tietokoneeseen Black Energy 3 haittaohjelman, jonka avulla hyökkääjien oli mahdollista luoda takaportteja verkkoyhtiön IT-järjestelmiin ja kerätä hyökkäykseen tarvittavia tietoja. Lopulta hyökkäys koostui monesta osasta, kuten säh-könjakeluprosessiin sisältyvien laitteiden uudelleen konfiguroinneista, laiteohjelmisto-jen muutoksista, puhelinjärjestelmään tehdystä palvelunestohyökkäyksestä sekä käyttö-keskusten työasemien lamauttamisesta. (SANS 2016)

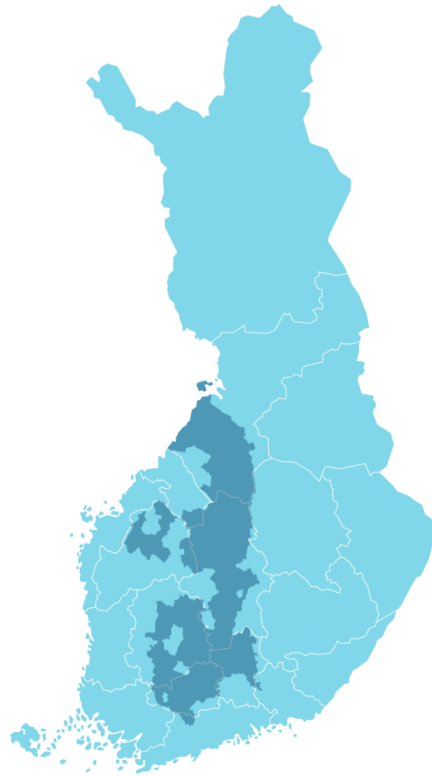
Vaikka molemmat esimerkkitapaukset ovat herättäneet kiinnostusta niiden teknisten toteutusten takia, on huomattava, että molemmissa tapauksissa järjestelmien käyttäjän aiheuttamaa haavoittuvuutta on käytetty hyväksi järjestelmiin sisäänpääsyssä. Tämä osoittaa kuinka tärkeää henkilöstön, erityisesti kriittisiin tietojärjestelmiin pääsyllä val-tuutetun henkilöstön, jatkuva kyberturvallisuuskouluttaminen on. Ihmisten toiminta onkin tietoturvallisen ympäristön tärkein tekijä (Koponen 2010).

## 4. KÄYTTÖKESKUSTOIMINNAN KEHITTÄMINEN

Tässä luvussa käyttökeskuksen toiminnan kehittämistä lähestytään muuttuvan toimintaympäristön näkökulmasta. Osa toimintaympäristön muutoksista vaikuttaa jakeluverkkojen käyttöön jo nyt, mutta osan vaikutukset tulevat näkymään verkkojen käytössä vasta vuosien päästä. Muutosten aiheuttamiin vaikutuksiin tulee kuitenkin varautua etukäteen toimintatapoja ja työkaluja kehittämällä. Luvussa 4.1 esitellään lyhyesti Elenia Oy:n käyttökeskusta ja sen toimintamalleja. Luvussa 4.2 pohditaan ja annetaan ehdotuksia käyttökeskuksen toimintamallien ja työkalujen kehittämiseen luvussa 3 käsiteltyihin toimintaympäristön muutoksiin vastaamiseksi. Luvussa 4.3 käydään läpi muita kehitysideoita, joita on tullut esiin tämän diplomityön yhteydessä tehdyissä haastatteluissa, sekä keskusteluissa Elenian muiden työntekijöiden kanssa käyttökeskuksessa työskentelyn aikana.

### 4.1 Elenia Oy:n käyttökeskus

Elenia Oy on Suomen toiseksi suurin sähkönjakeluverkkoyhtiö. Se vastaa sähkönjake-  
lusta 420 000 koti-, yritys- ja yhteiskunta-asiakkaalle yli sadan kunnan alueella. Elenia  
Oy:n verkkoalue on korostettu kuvassa 5 tummalla värillä.



**Kuva 5.** Elenia Oy:n verkkoalue tummalla korostettuna

Sähköverkkoa Elenia Oy:llä on omistuksessa yhteensä 67 600 km. Tästä noin kaksi kolmasosaa on pienjänniteverkkoa ja noin yksi kolmasosa keskijänniteverkkoa. Suurjännitteistä jakeluverkkoa Elenia omistaa noin 1 100 km. Jakeluverkon kaapelointiaste vuoden 2016 lopussa oli 37 %. Elenian tavoite on nostaa verkon kaapelointiaste 70 %:iin vuoteen 2028 mennessä. Ilmajohdojen ja maakaapeleiden lisäksi Elenia Oy:llä on 135 sähköasemaa ja noin 23 500 jakelumuuntamoaa.

Elenia Oy:n sähkönjakeluverkon valvontaa ja verkossa tehtävien kytkentöjen johtamista hoidetaan ympäri vuorokauden keskitetysti Tampereen käyttökeskuksesta. Käytönvalvontaa tekevät pääsääntöisesti kahdeksan vakituista käytönvalvojaa kolmivuorotyönä. Käyttökeskuksen tukena ovat oman toimen ohella käytönvalvontaa tekevät Elenia Oy:n työntekijät, jotka normaalityönsä ohella tekevät muutamia käytönvalvontavuoroja kuu-kaudessa. Näin käyttökeskukseen on saatavilla resursseja suurhäiriöitä ja ruuhkatilanteita varten. Käyttökeskuksessa työskentelee aamu- ja iltavuoroissa kahdesta kolmeen käytönvalvojaa tilanteesta riippuen. Heistä yksi on aina ennalta määritelty vastuussa oleva käytönvalvoja, jonka käytönjohtaja on nimittänyt verkon käyttöä valvovaksi henkilöksi. Elenia Oy:n verkkoalue on jaettu näennäisesti pohjoiseen ja eteläiseen osaan. Vastuussa oleva käytönvalvoja toimii eteläisen verkon käyttöä valvovana henkilönä. Hän on siirtänyt pohjoisen verkon käyttöä valvovan henkilön tehtävät toisena vuorossa olevalle käytönvalvojalle. Mahdollisesti kolmantena vuorossa olevalle käytönvalvojalle siirretään käyttöä valvovan henkilön tehtäviä tapauskohtaisesti. Yöllä käyttökeskuksessa on yksi käytönvalvoja, joka toimii koko verkon käyttöä valvovana henkilönä.

Elenia Oy:n käyttökeskuksen normaaliajan tehtäviin kuuluu verkossa tehtävien rakennus- ja kunnossapitotöihin liittyvien kytkentöjen johtaminen, vikojen rajaaminen ja korjaustöiden johtaminen sekä verkon valvonta. Käyttökeskuksessa vakituisesti työskentelevät henkilöt suunnittelevat sähköasemilla ja yli 20 kV verkoissa tehtävien töiden kytkennät. Käyttökeskus vastaa kaikkina aikoina suur- ja keskijänniteverkon vikojen hoitamisesta. Toimistotyöaikana pienjänniteverkon vikoja ei vastaanoteta tai käsitellä käyttökeskuksessa, vaan ne vastaanotetaan ja käsitellään asiakaspalvelun ja urakoitsijan toimesta. Toimistotyöajan ulkopuolella käyttökeskus vastaa myös pienjänniteverkon vikojen käsittelystä, jolloin myös vikoihin liittyvät asiakasilmoitukset vastaanotetaan käyttökeskuksessa. Suurhäiriötilanteissa otetaan käyttöön sitä varten kehitetyt erilliset toimintamallit, joiden käsittely on rajattu tämän työn ulkopuolelle.

## **4.2 Toimintaympäristön muutoksiin vastaaminen**

Luvussa 3 käsiteltiin sähköverkkoliiketoiminnan toimintaympäristön muutoksia ja niiden vaikutusta jakeluverkkojen käyttöön. Tässä luvussa käsitellään ehdotuksia ja toimenpiteitä, joiden toteuttaminen edistää käyttökeskuksen toimintavalmiuksia muuttuvassa toimintaympäristössä. Luvun lopussa käsitellään myös muita havaittuja kehitystarpeita.

### **4.2.1 Kompetenssin ja turvallisuuden ylläpitäminen**

Luvussa 3.1 käytiin läpi, miten hajautetun tuotannon yleistyminen tulee monimutkaisuutensa vuoksi jakeluverkon käyttöä. Jotta verkon käyttö on tulevaisuudessakin turvallista ja tehokasta, on käytönvalvojilla oltava tietämys hajautettuun tuotantoon liittyvistä haasteista ja mahdollisuuksista. Jos hajautetun tuotannon aiheuttamia vaikutuksia ei ole huomioitu verkon ja sen suojausten suunnittelussa ennen tuotannon verkkoon liityntää, ilmenevät ongelmat ensimmäisenä jakeluverkon käytössä, esimerkiksi suojausten epäselektiivisenä toimintana. Asianmukaisella perehdytyksellä ja koulutuksella varmistetaan siitä, että myös epänormaalien häiriötilanteiden selvitys on nopeaa ja johdonmukaista alusta lähtien.

Toinen vielä tärkeämpi kokonaisuus on turvallisuuskulttuurin ylläpitäminen ja kehittäminen. Sekä perehdyttämällä että tietojärjestelmiä kehittämällä tulee edesauttaa jakeluverkoissa yleistyvien tuotantoliittymien havaitsemista vika- ja työkeskeytysten yhteydessä. Perehdyttämällä käytöissä työskentelevää henkilöstöä hajautetun tuotannon yleisyydestä ja siihen liittyvistä turvallisuusseikoista, varmistetaan sähkötyöturvallisuudesta myös tulevaisuuden jakeluverkoissa työskenneltäessä. Tietojärjestelmiä tulee kehittää avustamaan käytönvalvojia pienten tuotantolaitosten havainnoinnissa ja niiden erottamiseen liittyvien turvallisuustoimenpiteiden toteuttamisessa. Huolto- ja vikakeskeytyksissä tulisi tietojärjestelmien tuottaa automaattinen ja selkeä indikaatio käytönvalvojalle, jos kyseisellä alueella on hajautettua tuotantoa. Näin käytönvalvoja osaa ohjata työryhmän

erottamaan tuotantokohteen verkosta, jos se on jäämässä osaksi työskentelyn kohteena olevaa verkon osaa. Tarkastellaan esimerkkinä keskijännitejohtolähdön vikaa, jossa johtolähdöllä on hajautettua tuotantoa. Jos vika-alue rajautuu verkon osaan, joka sisältää tuotantoa, tulisi tietojärjestelmän indikoida tämä käytönvalvojalle, esimerkiksi kartta-pohjalle tai keskeytyslomakkeelle visualisoitavalla huomion herättävällä värityksellä. Tämä vähentää riskiä sille, että tuotantolaitosta ei havaita ja näin ollen myöskään eroteta työskentelyn kohteena olevasta verkon osasta. Tällä hetkellä käytöntukijärjestelmässä on mahdollista halutessaan hakea näkyviin kaikki verkkoon tiedettävästi liitetyt tuotantokohteet. On kuitenkin mahdollista, että tuotantokohteita tulee olemaan jakeluverkoissa niin paljon, että niiden kaikkien jatkuva visualisointi haittaa käyttöliittymän informatiivisuutta. Lisäksi on tarve tehoiltaan erisuuruisten tuotantolaitosten visualisoinnille (Viitanen 2016). Tuotantolaitoksen tyyppi ja nimellisteho vaikuttavat jakeluverkon vika- ja korvaustilanteisiin, minkä vuoksi voi olla hyödyllistä, että nämä tiedot ovat helposti käytönvalvojan saatavilla. Esimerkiksi epäselvissä vikatapauksissa, joissa suojaus ei ole toiminut odotetusti tai verkossa on tapahtunut vian aikana laitevaurioita, voidaan johtolähdöllä sijaitsevien tuotantolaitosten tyypistä ja nimellistehosta päätellä, miten ne ovat todennäköisesti käyttäytyneet vian aikana. Kun hajautettujen tuotantolaitosten tiedot ovat nopeasti käytönvalvojen saatavilla, nopeuttaa se myös mahdollisten epäselvien vikatapauksen selvittämistä. Lisäksi kiireellisissä korvaustilanteissa pystytään paremmin arvioimaan tuotantolaitosten vaikutusta verkon jänniteprofiiliin, kun tuotantolaitoksen tyyppi ja nimellisteho ovat nopeasti nähtävillä.

#### 4.2.2 Sammutuskelojen säädön hallinta

Luvussa 3.2.1 käsiteltiin maakaapelien synnyttämiä maasulkuvirtoja ja niiden kompensointia. Kun ilmajohtoverkkoa korvataan enemmän maasulkuvirtaa tuottavalla maakaapelilla, kasvaa verkon maasulkuvirtojen kompensoinnin merkitys entisestään. Kuten luvussa 3.2.1 todettiin, on sammutus ilmajohtoverkoissa ollut tärkeä tekijä maasuluista aiheutuvien jälleenkytkentöjen vähentämiseksi. Maakaapeliverkoissa viat ovat kuitenkin ilmajohtoverkkoon verrattuna erityyppisiä ja harvoin ohimeneviä, joten ilmajohtoverkon vastaavia hyötyjä ei enää saavuteta. Laajoissa maakaapeliverkoissa maasulkuvirtoja kompensoidaankin ennemmin maadoitusten mitoittamiseen ja tähän liittyvien turvallisuusseikkojen takia.

Petersén kelojen eli sammutuskelojen säätäjät toimivat normaalisti automaattisesti. Kyt-kentätilanteen muuttuessa säätäjä havaitsee nollajännitteen muutoksen ja virittää sammutuskelan hiukan alle verkon resonanssipisteen. Käytännössä on kuitenkin havaittu, että säätäjissä saattaa esiintyä toimintahäiriöitä tai ne eivät pysty säätöön liian symmetristen verkkojen takia. Verkon ollessa liian symmetrinen ei nollajännite ole normaalitilassa riittävän suuri, jotta säätäjä pystyisi havaitsemaan resonanssipisteen. Tällöin on vaarana, että säätäjä jättää sammutuskelan väärään asentoon suhteessa verkon tuottamaan maasulkuvirtaan. Ongelma on kuitenkin tunnistettu ja se voidaan estää lisäämällä

verkon epäsymmetriaa kytkemällä tyhjäkäyvää kaapelia yksivaiheisesti verkkoon. Sammutuskelojen säätäjiä joudutaan joskus ohjaamaan manuaalitilaan esimerkiksi sähköasemakorvauksien takia, koska sekä syöttävän että korvattavan sähköaseman säätäjät ja sammutuskelat toimivat rinnan. Jotta säätäjät eivät säätäisi toisiaan vastaan, asetetaan toinen säätäjä kaukokäytöllä manuaalitilaan, jolloin sammutuskela jää ikään kuin kiinteäksi ja toinen säätää tarvittaessa. Palautuskytkentöjä tehtäessä on riski, että säätäjä unohdetaan manuaalitilaan, jolloin se ei säädi sammutuskelaa oikeaan tilaan kytkentätilanteen palautuessa. Kytkentäohjelmissa tulisi aina olla erikseen huomautus säätäjän säätötavan valinnan palautuksesta automaatille, jotta unohduksilta vältytään. Tämän lisäksi valvontaa tulisi edistää käytönvalvontajärjestelmään toteutettavalla näkymällä manuaalitilassa olevista säätäjistä ja niistä säätäjistä, jotka eivät ole virittäneet sammutuskelaa oikeaan asentoon. Näin epänormaalissa tilassa olevat säätäjät ja sammutuskelat voidaan havaita yhdellä silmäyksellä käytönvalvontajärjestelmän näkymästä eikä niitä tarvitse etsiä normaalitilassa olevien säätäjien ja sammutuskelojen joukosta.

### 4.2.3 Loistehon ja reaktoreiden hallinta

Luvussa 3.2.2 käytiin läpi maakaapeloinnin vaikutuksia jakeluverkon loistehoon ja jännitteisiin. Näihin vaikutuksiin vastataan pitkällä aikavälillä investoimalla loistehon keskitettyyn ja hajautettuun kompensointiin. Käyttökeskuksen tehtävä on valvoa, että kompensointiratkaisut ovat käytössä ja toimivat suunnitellusti. Tämä tarkoittaa lisääntyvää automatiikan valvontaa sekä käytönvalvojilta entistä parempaa tietoutta kompensointilaitteisiin liittyvien häiriöiden hoitamisesta.

Käytönvalvonnan näkökulmasta ensimmäisten reaktoreiden asennukset eivät tule vaikuttamaan loistehonsäädön valvontaan merkittävästi, koska reaktorit sijoitetaan kohteisiin, joissa kompensoitavaa kapasitiivista loistehoa on verkon kuormituksesta riippumatta niin paljon, että reaktoreiden on tarve olla koko ajan kytkettyinä. Tilanne kuitenkin muuttuu, kun reaktoreita on asennettu tarvittava määrä ja loistehomaksut halutaan minimoida. Tällöin kaikki reaktorit eivät voi olla kiinni verkossa ympäri vuoden, koska talven huippukuormilla kaapelit toimivat lähempänä luonnollista tehoa ja ilmajohdot tuottavat enemmän induktiivista loistehoa. Jos kaikki kevyillä kuormituksilla tarvittavat reaktorit pidettäisiin verkkoon kytkettyinä myös huippukuormilla, aiheutuisi tästä joisain kohteissa loistehon ottomaksuja sekä liian matalia jännitteitä. (Kenttälä 2016) Loistehon keskitetyn kompensoinnin säätö tulisi Kenttälän (2016) mukaan toteuttaa jännitteettömänä säädettävien reaktoreiden tapauksessa reaktoreiden verkkoon kytkennän hystereesisäädöllä, jotta edestakaisilta kytkennöiltä vältytään. Hystereesillä tarkoitetaan säätöön suunniteltua kuollutta aluetta, jolloin pienet tai nopeat muutokset mitattavassa suuressa eivät aiheuta säädettävän kohteen tilan muuttamista. Reaktoreiden ohjauksen säädössä tulee huomioida kuormitusten lyhyen ja pitkän aikavälin vaihtelut sekä koordinaatio käämikytkinten säädön kanssa. (Kenttälä 2016)



Automaattisesti ohjattu loistehon kompensointi lisää käyttökeskuksen automatiikan valvontaa. Hystereesisäädön toimivuutta pystytään arvioimaan ennalta edellisten vuosien tehokuvajien perusteella. On kuitenkin tarpeen, että Fingridin asettamien loistehoikkunoiden rikkomuksiin liittyviä hälytyksiä seurataan käyttökeskuksessa, koska kytkentämuutokset, viat ja sähköasemien korvaustilanteet vaikuttavat liittymispisteissä mitattuihin loistehoihin. Loistehoikkunoiden ylityksiin liittyvien hälytysten prioriteetti ja niihin reagointi tulee suunnitella hystereesisäädön toteutuksesta riippuen. Jos hystereesisäädön kuollut alue joudutaan reaktoreiden edestakaisten kytkentöjen välttämiseksi pitämään niin laajana, että loistehoikkunoiden pieniä ylityksiä ei voida välttää, tulee harkita, onko syytä myöskään tuottaa korkean prioriteetin hälytystä näistä ylityksistä, koska käytönvalvojien manuaaliset toimenpiteet ylityksiin vaikuttamiseksi ovat rajalliset. Tilanne tulee kuitenkin muuttumaan maakaapeliverkon yhä kasvaessa. Yksittäinenkin johtolähtö voi tuottaa yli 1 MVar loistehoa, jolloin kytkentämuutoksien vaikutus suhteessa keskitettyyn kompensointikapasiteettiin on suurempi. Tällöin korkean prioriteetin hälytys voi olla tarpeen, jotta loistehomaksujen kannalta epäoptimaaliset kytkentätilanteet voidaan havaita ja niihin vaikuttaa.

Fingrid ei peri loissähkömaksuja loistehoikkunoiden ylityksistä, jos ne johtuvat lyhytaikaisista poikkeustilanteista, joista verkkoyhtiö on tehnyt ennakkoilmoituksen (Fingrid 2016c). Sähköasema- ja voimajohtotöiden korvauskytkentöjen suunnittelussa tulee siis tarkastella niiden vaikutusta liittymispisteiden loistehoikkunoihin, jotta ennakkoilmoitus voidaan tarvittaessa tehdä. Ennakkoilmoitus voi tulla kyseeseen myös jakeluverkossa tehtävissä töissä, joissa laajoja verkon osia siirretään eri liittymispisteen takana olevan sähköaseman syöttöön. Fingridin sovellusohjeessa (Fingrid 2016c) on erikseen mainittu yksittäisten yli 0,5 MVar kompensointilaitteistoiden vioista, joiden kapasiteetin puuttuminen otetaan huomioon loistehoikkunoissa asiakkaan niin esittäessä. Korjausaika ei saa kuitenkaan ylittää yhtä viikkoa. (Fingrid 2016c) Kompensointilaitteiden vikojen korjaamisesta ja ilmoituskäytännöistä tulee siis sopia tarkasti, jotta viat eivät pitkity ja loissähkömaksut voidaan minimoida.

Verkkoa käytettäessä on oleellista tunnistaa reaktoreiden kytkennöistä aiheutuvien ilmiöiden vaikutukset. Edelleen joillakin sähköasemilla on kondensaattoreita, joita on käytetty loistehon hallintaan sekä huippukuormitus- ja korvaustilanteissa nostamaan jännitettä. Reaktoreilla on päinvastainen vaikutus jännitetasoon eli ne laskevat sitä. Kenttälän diplomityössä (2016) tehtyjen simulointien perusteella 3 MVar reaktorin kytkentä eräällä Elenian sähköasemalla laskee kyseisen sähköaseman 20 kV kiskon jännitettä noin 0,5 kV. Tähän vaikuttavat syöttävän verkon oikosulkuteho sekä kytkettävän reaktorin nimellisteho. (Kenttälä 2016) Verkkoa käytettäessä tulee siis olla tietämys siitä, miten reaktorin kytkentä eri pisteissä ja eri kytkentätilanteissa vaikuttaa verkon jännitteisiin, jotta kytkennällä ei aiheuteta häiriötä sähkön laatuun. Esimerkiksi sähköasemakorvauksissa reaktoreiden vaikutukset tulee etukäteen arvioida. Kun sähköaseman päämuuntajan syöttämät kuormat korvataan jakeluverkon kautta, voi joissain tilanteissa olla

tarpeen kytkeä reaktori irti 20 kV kiskosta. Korvattavan sähköaseman kiskolta siirretään osa lähdöistä varasyöttöyhteyksien syöttöön ja osa jäljelle jäävistä lähdöistä syötetään kiskon läpi toiselta sähköasemalta tulevalla johtolähdöllä. On myös tilanteita, jolloin kuormia ei syötetä kiskon läpi, mutta kisko halutaan pitää jännitteisenä omakäyttömuuntajan takia. Näissä tilanteissa reaktori voidaan joutua kytkemään irti kiskolta, jotta jännitteet saadaan pysymään riittävän korkealla. Edellä mainittujen Kenttälän työssä (2016) tehtyjen simulointien perusteella voidaan päätellä, että 3 MVar luokan reaktoria ei voida kytkeä sähköaseman kiskolle, jos kiskoa syötetään jakeluverkon 20 kV johtolähdön kautta. Nimellisteholtaan suurten reaktoreiden kytkennöissä tulee siis aina ottaa huomioon kytkentäpisteen sen hetkinen verkon jäykkyys sekä jännitetaso.

#### 4.2.4 Tehopulatilanne

Tehopulatilannetta ja siihen liittyviä Fingridin ohjeistuksia käsiteltiin luvussa 3.3.1. Tehopulatilanteen realisoituessa käyttökeskus hyödyntää kulutuksen rajoittamisessa käytönvalvontajärjestelmää, käytöntukijärjestelmää ja käytöntukijärjestelmästä kerättäviä raportteja. Koska tehopulatilanteet ovat erittäin harvinaisia, tulee niihin varautua harjoittelemalla, jotta toimintaohjeen ja järjestelmien toimivuutta todellisten tilanteiden varalle voidaan arvioida. Irtikytkentöjen toteutus ja alueellinen rajoitusten jaksottaminen ovat tällä hetkellä suunniteltu toteutettavaksi manuaalisesti käytönvalvojen toimesta. Rajoitukset perustuvat käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmästä kerättyjen kulutus- ja asiakastietojen pohjalta tehtyyn toimintaohjeeseen. Varsinaiset irtikytkennät toteutetaan kuitenkin manuaalisesti sähköasemien johtolähtöjen katkaisijoita ohjaamalla. Tämä tarkoittaa, että auki ohjattavia katkaisijoita on satojen megawattien rajoitusportaiden toteuttamiseksi useita kymmeniä, ellei satoja. Kulutuksen takaisinkytkennät toteutetaan myös käytönvalvontajärjestelmästä manuaalisesti tehtävillä katkaisijoiden kauko-ohjauksilla.

Koska tehopulatilanne on erittäin harvinainen, voi olla syytä olettaa, että tilanteen realisoituessa asiakkaita ja mediaa kiinnostaa erityisesti, miten kulutuksen rajoitusten tasapuolisuudesta varmistutaan. On myös mahdollista, että kantaverkon tai tuotantolaitoksen vikaantumisen takia tehonrajoitusta vaaditaan nopealla aikataululla. Vaikka kanta-verkkokeskuksella on mahdollisuus kytkeä äärimmäisen kiireellisissä tilanteissa kulutusta irti, on jakeluverkkoyhtiössä syytä varmistua siitä, että välittömästi alkamaan pyydetty rajoitukset on mahdollista toteuttaa nopeasti. Manuaalisesti tehtävien kauko-ohjausten tilalle tulisikin harkita FLIRin tapaista käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmällä toteutettavaa kytkentäsekvenssiä tehopulatilanteeseen. Kytkentäsekvenssi voitaisiin luoda käytöntukijärjestelmässä kriittisiin asiakkaisiin, tehoihin ja kulutuksen rajoitusten jaksotukseen määriteltujen ehtojen perusteella. Käytönvalvontajärjestelmässä vastaanotetulla kytkentäsekvenssillä voitaisiin joko automaattisesti tai käytönvalvojan toimesta ohjata useamman johtolähdön katkaisijoita yhtäaikaaisesti. Tällöin irtikytkentöjen ja palautuskytkentöjen tekeminen olisi yksittäisiä katkaisija ohjauksia nopeampaa ja

rajoituksien jaksottaminen eri alueiden välillä tarkempaa. Toiminto vapauttaisi myös käytönvalvojan aikaa kokonaistilanteen hallintaan ja valvontaan, koska yksittäisten ohjausten tekeminen vähentyisi. Tehopulatilanteessa kulutuksen irtikytkennöistä aiheutuvan haitan jakautumisen suhdetta ja merkitystä tulee arvioida, kun harkitaan tilanteeseen käytettävissä olevien työkalujen kehittämistä.

#### 4.2.5 Käyttökeskuksen kyberturvallisuus

Luvussa 3.4 käsiteltiin tieto- ja kyberturvallisuuden kiristymisen vaikutusta sähköverkko-yhtiön käyttökeskustoimintaan. Tässä luvussa ei käsitellä niinkään teknisiä kyberturvallisuusratkaisuja vaan lähestytään kyberturvallisuutta käyttökeskuksessa työskentelevien käytönvalvontaa tekevien henkilöiden vaikutusmahdollisuuksien näkökulmasta. Luvussa ei myöskään oteta kantaa nykyiseen kyberturvallisuuden tasoon käyttökeskuksessa, vaan pohditaan miten käytönvalvonnassa tulisi nyt ja tulevaisuudessa huomioida kyberturvallisuus.

Normaalissa toimistoympäristössä yleisimmät tieto- ja kyberturvallisuusohjeistukset koskevat salasana- ja sähköpostikäytäntöjä sekä luottamuksellisen tiedon käsittelyä ja kulunvalvontaa. Näiden lisäksi käytönvalvonnassa tulee huomioida erillisessä verkossa toimivan sähkönjakeluprosessin valvonnan ja ohjauksen sisältämiä erityispiirteitä. Kulunvalvonnan tulee olla normaalia tiukempaa, koska asiattoman henkilön pääsy käyttökeskustiloihin voisi aiheuttaa merkittäviä vahinkoja. Esimerkiksi luvattomasti käytönvalvontajärjestelmällä tehdyt kauko-ohjaukset tai fyysinen vahingonteko työasemille aiheuttaisivat välitöntä haittaa käytönvalvonnalle. Riskinä luvattomassa pääsyssä käyttökeskukseen on myös erilaisten näppäilyn tallentajien tai suoranaisten haittaohjelmien asentaminen käytönvalvontajärjestelmän työasemille tai palvelimille, jotka toimivat eriytettyinä yleisistä verkoista.

Käytönvalvojien tulee tiedostaa kasvavat kyberturvallisuusuhat, joita sähkönjakeluprosessiin saattaa kohdistua. Maailmalla tapahtuvista raportoiduista kyberhyökkäyksistä tulee ottaa oppia ja pyrkiä tunnistamaan asioita, joihin käytönvalvojat sekä muu henkilöstö voivat työssään vaikuttaa. Esimerkiksi luvussa 3.4 käsitellystä Ukrainan sähköverkkoihin kohdistetun kyberhyökkäyksen valmistelusta ja toteutuksesta on saatu muodostettua kattava kuva (SANS 2016). Tässä tapauksessa henkilöstö olisi voinut vaikuttaa hyökkäyksen kulkuun tunnistamalla kalastelusähköpostiviestit ja välttää niiden avulla toteutettu murtautuminen toimistoverkkoon. Jo tapahtuneista hyökkäyksistä tulisi myös pyrkiä tunnistamaan, millaisia epänormaaleja tapahtumia niihin liittyvään tiedusteluun ja valmisteluun on liittynyt. Kun käytönvalvojille sekä muulle henkilöstölle pystytään kuvaamaan, millaisiin epänormaaleihin tapahtumiin on syytä kiinnittää erityistä huomiota, edesauttaa se mahdollisten hyökkäysten havaitsemista jo tiedustelu- tai valmisteluvaiheessa.

Käyttökeskuksessa työskentelevä henkilöstö on ainut taho, joka valvoo aktiivisesti sähköjakeluprosessia ja siihen liittyviä järjestelmiä ympäri vuorokauden. Jos sähköjakeluprosessiin onnistutaan kohdistamaan jakelun keskeyttävä kyberhyökkäys, kuten Ukrainassa vuonna 2015, on todennäköistä, että käyttökeskuksen henkilöstö havaitsee tämän ensimmäisenä. Tästä syystä käytönvalvojilla tulee olla tietämys, miten toimia mahdollisissa kyberhyökkäystilanteissa. Käytönvalvojien tulisi tietää, millaisia välittömiä toimenpiteitä he voivat toteuttaa hyökkäyksen vahinkojen minimoimiseksi tai miten hyökkäyksen kulkua tulisi dokumentoida jälkiselvityksiä varten. Koska kyberhyökkäystilanteet ovat erittäin harvinaisia ja ainakin vielä hyvin ainutlaatuisia sähköjakeluverkkojen tapauksessa, on tärkeää, että ennalta laadituilla ohjeilla ja eri skenaarioiden harjoittelulla varmistutaan valmiudesta kyberhyökkäystilanteiden hallintaan.

### 4.3 Muut kehitystarpeet

Tässä luvussa käsitellään muita kehitystarpeita, joita on tullut ilmi tätä diplomityötä varten tehdyissä haastatteluissa. Osa kehitystarpeista on käynyt ilmi kirjoittajan käyttökeskuksessa työskentelyn aikana, jolloin on käyty keskusteluita Elenian asiantuntijoiden ja pitkään sähköjakeluverkkojen parissa töitä tehneiden henkilöiden kanssa. Luvussa 5.3 kerrotaan tarkemmin Elenian käytönvalvojille ja käyttöinsinööreille tehdyistä haastatteluista. Haastattelut käsittelivät pääasiassa käyttökeskustoiminnan mittaamista, mutta niissä käytiin läpi myös käyttökeskustoiminnan kehitystarpeisiin liittyviä asioita.

#### 4.3.1 Hälytysten indikointi

Käyttökeskus seuraa keski- ja suurjänniteverkkoihin liittyviä hälytyksiä ja tapahtumia käytönvalvontajärjestelmän hälytys- ja tapahtumalistalta. Pienjänniteverkkoa koskevat hälytykset AMR-mittareilta eivät sen sijaan tule käytönvalvontajärjestelmään, vaan ne hallitaan täysin käytöntukijärjestelmässä samoin kuin muukin pienjänniteverkkoon liittyvä vianhoito.

Sähköasemilta ja keskijänniteverkosta saadaan käytönvalvontajärjestelmään hälytys yhä useammasta eri tapahtumasta tietoliikenteen ja verkostoautomaation kehityksen myötä. Hälytykset on jaettu käytönvalvontajärjestelmässä eri prioriteettiluokkiin, joiden perusteella niitä voidaan esittää hälytyslistalla. Nykyisessä toimintamallissa käyttökeskuksessa seurataan ensisijaisesti hälytyslistalle ilmestyviä korkean prioriteetin hälytyksiä. Ne indikoidaan käytönvalvontajärjestelmän hälytyslistalle ilmestyvän tekstirivin lisäksi käyttökeskuksessa syttyvällä valolla tai vaihtoehtoisesti käyttökeskuksessa soivalla summerilla. Korkean prioriteettiluokan hälytyksiin sisältyvät hälytykset katkaisijoiden laukeamisista ja muuntajasuojien toiminnoista, mutta myös monista muista tapahtumista, jotka eivät puolestaan aiheuta tarvetta yhtä välittömälle reagoinnille kuin ensin mainitut. Esimerkiksi kaukokäyttöisen erotinaseman omakäyttösähkön sulakkeen palaminen tai sähköaseman tietoliikenneyhteyden hetkellinen katkeaminen indikoituu käytön-

valvojalle samoin kuin katkaisijan laukeaminen, lukuun ottamatta hälytyslistalle ilmestyvää tekstiriviä. Eri kiireellisyyttä edellyttävien hälytysten indikointi samalla tavalla on nähty käytönvalvojen keskuudessa haasteeksi (Tomula 2016). Tämä johtuu siis siitä, että ensimmäinen indikaatio hälytyksestä (lampun syttyminen tai summerin soiminen) ei vielä kerro riittävän tarkasti hälytyksen kiireellisyydestä.

Joihinkin korkean prioriteetin hälytyksiin, kuten tietoliikenneyhteyksien katkeamiseen tai sähköaseman tasasähkövaraajan vikaan, voidaan reagoida vasta minuuttien päästä hälytyksen aktivoiduttua. Reagoinnissa tapahtuvalla viiveellä ei ole huomattavaa vaikutusta, koska hälytys ei ole johtunut tapahtumasta, joka välittömästi tai edes minuuttien kuluttua aiheuttaisi keskeytystä asiakkaille tai laitevauriota. Jos taas sähköaseman syöttökatkaisija tai paljon asiakkaita sisältävää taajamalähtöä syöttävä katkaisija laukeaa, on hälytykseen reagointiin kuluneella ajalla välittömästi vaikutusta KAH-kustannusten muodossa. Riippuen irronneen kuorman suuruudesta, saattaa parin minuutin viive tarkoittaa tuhansien eurojen KAH-kustannuksia.

Koska ei-välitöntä reagointia vaativia korkean prioriteetin hälytyksiä tulee nykyisellä hälytysten luokittelujaolla suhteellisen usein verrattuna katkaisija laukaisuihin, ei hälytyksestä ilmoittavaa valoa tai summeria pidetä indikaattorina katkaisijan laukeamisesta. Vaikka nykyinen summerilla saatava äänihälytys on tehokas, sitä ei useinkaan käytetä, koska se soi kaikista korkean prioriteetin hälytyksistä, kuten edellä mainittiin. Hälytysten indikointia tulisikin kehittää siten, että sähkökatkaiseva katkaisijan laukeaminen tai muu välitöntä reagointia vaativa tapahtuma indikoituisi käyttökeskuksessa käytönvalvojille eri tavoin kuin muut hälytykset. Eräs keino olisi tuottaa äänihälytys vain niistä katkaisijoiden laukaisuista, jotka johtuvat suojaustoiminnoista ja katkaisevat asiakkaiden sähkön saannin. Tällöin äänihälytys olisi aina indikaattori tapahtumasta, johon käytönvalvojan tulee reagoida välittömästi. Äänihälytys tulisi kuitenkin olla kytkettävissä pois päältä suurhäiriö- ja ruuhkatilanteita varten, jolloin verkossa tapahtuu paljon yhtäaikaista vikojä. Tällöin käytönvalvonnan pääpaino on verkon valvonnassa ja vikakeskeytysten hallinnassa, joten erillistä äänihälytystä uusista vikatapauksista ei välttämättä tarvita.

Ääneen perustuva hälytys katkaisijan laukeamisesta tai muusta välitöntä toimenpidettä vaativasta tapahtumasta on tarpeen, koska käyttökeskuksessa tehdään verkon valvonnan lisäksi myös paljon muuta työtä, joka vie käytönvalvojan huomiota verkon valvonnasta. Arkisin verkon rakennus- ja kunnossapitotöiden johtaminen ja niihin liittyvä dokumentointi vaativat tarkkaa keskittymistä ja vievät merkittävän osan käytönvalvojan huomiosta. Laajat keskeytykset tulee kuitenkin havaita rakennus- ja kunnossapitotöiden johtamisen ohella ja priorisoida sähköjen palauttaminen asiakkaille näiden töiden edelle. Äänihälytys mahdollistaa myös käytönvalvojen tehokkaamman työskentelyn kytkentäsuunnitelmien ja kehitystyön parissa rauhallisina aikoina. Kytkentäsuunnittelu tai muu työ voidaan keskeyttää välittömästi, kun tiedetään äänihälytyksen indikoivan välittömiä toimenpiteitä vaativasta tapahtumasta tai viasta. Sen sijaan muut vähemmän kiireelliset korkean prioriteetin hälytykset havaitaan yhä hälytyslistalta tai valon syttymisestä, mut-

ta niiden selvittämistä voidaan viivästyttää tarvittaessa, jotta esimerkiksi meneillään oleva työ saadaan päätökseen tai vaiheeseen johon se on mielekästä keskeyttää.

Edellä esitetyn äänihälytyksen tuottamiseen liittyy oleellisesti tieto siitä, onko hälytys johtunut tapahtumasta, joka on keskeyttänyt sähkönjakelun tai tapahtumasta, joka saattaa nopeasti aiheuttaa sähkönjakelun keskeytyksen tai laiteaurion. Jälkimmäisen tyyppisiä tapahtumia ovat esimerkiksi ensin hälyttävät ja vasta sitten laukaisevat muuntajasuojat. Näiden määrittely äänihälytyksen piiriin ei kuitenkaan pitäisi olla ongelmallista. Sen sijaan katkaisijoiden avautuminen ei välttämättä aina aiheuta keskeytystä, minkä vuoksi vain katkaisijoiden avautumisista ei voida tuottaa äänihälytystä, vaan vaaditaan tarkempaa tarkastelua. Vaikka käytönvalvontajärjestelmä tuottaa tällä hetkellä hälytykset katkaisijoiden laukeamisista, se ei osaa päätellä onko katkaisijan laukeaminen aiheuttanut sähköjen katkeamisen asiakkailta. Käytöntukijärjestelmä osaa sen sijaan katkaisijan lauetessa päätellä, onko siitä aiheutunut asiakkaille keskeytystä. Toisaalta käytönvalvontajärjestelmässä on tieto siitä, onko katkaisija lauennut suojaustoiminnon takia, mikä lähes aina tarkoittaa sitä, että katkaisijan avautuminen on aloittanut keskeytyksen. Käytöntukijärjestelmässä keskeytys visualisoituu käyttöliittymän verkkokartalle ja ilmestyy keskeytystilanelistalle. Käytönvalvojalle on kuitenkin tarpeen saada näitä visuaalisia keinoja voimakkaampi indikaatio sähköjen katkeamisesta edellä esitetyn äänihälytyksen muodossa. Käytönvalvojan näkökulmasta ei sinänsä ole väliä, mikä tietojärjestelmä äänihälytyksen tuottaa, mutta hälytysten hallintaa ja kuittaamista ei ole kuitenkaan tarkoituksenmukaista hajauttaa useaan eri järjestelmään.

### 4.3.2 Ruuhkatilanteiden hallinta

Ruuhkatilanteilla tarkoitetaan tilanteita, jolloin verkossa tapahtuu useita ennakoimattomia yhtäaikaista vikoja, laaja yksittäinen häiriö tai näiden yhdistelmä. Tällaisissa tilanteissa käyttökeskuksen resurssit ei ole ollut mahdollista ennalta vahvistaa, kuten yleensä tehdään esimerkiksi sääennusteen perusteella. Ruuhkatilanteissa vastuu verkon käyttötilanteen ja resurssitarpeiden arvioinnista on vastuussa olevalla käytönvalvojalla, kuitenkin yhteistyössä muiden vuorossa olevien käytönvalvojien kanssa. Kun sääennusteen perusteella pystytään ennakoimaan tulevien vikojen lukumääriä, vahvistetaan käyttökeskuksen resurssit etukäteen toiminnan sujuvuuden varmistamiseksi. Tilanteen eskaloituessa käynnistetään suurhäiriöorganisaatio, jolloin käytönvalvojat hoitavat vain omien alueidensa vikakeskeytyksiä ja muu käyttötilanteen ja resurssitarpeiden hallinta on jaettu eri henkilöille. Tässä luvussa käsitellään ruuhkatilanteiden hallintaa vastuussa olevan käytönvalvojan näkökulmasta. Ruuhkatilanteet eivät vaadi suurhäiriöorganisaatiota tilanteen hallitsemiseksi. Eräs osa ruuhkatilanteiden hallintaa on kuitenkin tunnistaa, milloin suurhäiriöorganisaatio tulee käynnistää ja siirtyä sen mukaisiin toimintamalleihin.

Tällä hetkellä vastuussa olevan käytönvalvojan toiminta ruuhkatilanteessa riippuu vuorossa olevan käytönvalvojan henkilökohtaisista näkemyksistä. Selviä rajoja, esimerkiksi

sähköttömien asiakkaiden tai vikapuheluiden määrässä, ei lisäresurssien hälyttämiselle ole. Tällaisten rajojen kehittäminen ei ole yksinkertaista, koska vian tai vikojen luonne ja vuorossa olevien käytönvalvojen kokemus vaikuttavat lisäresurssien tarpeeseen. Suuntaa antavia rajoja kehittämällä voitaisiin kuitenkin pyrkiä yhtenäistämään käytönvalvojen toimintaa ruuhkatilanteissa. Lisäresurssien tarpeesta indikoivien rajojen luominen vaatii käyttökeskuksentoiminnan mittaamista ja tähän liittyvien avustavien työkalujen kehittämistä.

Avustavilla työkaluilla vastuussa oleva käytönvalvoja tai suurhäiriössä kokonaistilannetta hallitseva koordinaattori saisi nopeasti käsityksen käyttökeskuksen kuormitusasteesta ja tätä kautta lisäresurssien tarpeesta. Tällä hetkellä käytössä olevalla tilannekuvakartalla pystytään seuraamaan vikojen lukumäärää ja lukumäärien kehitystä alueellisesti. Tilannekuvakartan lisäksi tulisi kehittää työkaluja ryhmäpuhelinjärjestelmän jontusaikojen ja vikapuhelumäärien seurantaan. Näillä työkaluilla tulisi luoda suuntaa antavia hälytysrajoja, jotka auttaisivat vastuussa olevan käytönvalvojan päätöksentekoa ruuhkatilanteissa. Hälytysten tulisi perustua jo koettujen ruuhkatilanteiden aineistoihin vikamääristä ja -tyypeistä, sääennusteiden toteumista, vikapuheluista sekä ryhmäpuhelinjärjestelmän puheluista. Kaikkia edellä lueteltuja tekijöitä seuraamalla käytönvalvoja arvioi tulevaa tilannetta ja siihen vaadittavia resursseja. Jos tekijöiden väliltä eri ruuhkatilanteissa on löydettävissä yhtäläisyyksiä, voidaan niitä hyödyntämällä pyrkiä luomaan raja-arvoja, joiden ylittyessä käytönvalvojan tulisi harkita lisäresurssien hälyttämistä.

Käytönvalvonnan lisäresurssitarpeista indikoivien hälytysten parametrisoinnissa painoarvoa tulisi olla vikojen lukumäärällä ja tyypillä sekä uusien vikojen alkamisen taajuudella. Yksi käytönvalvoja voi suurhäiriötilanteessa pystyä hoitamaan kymmeniäkin yhtäaikaista vikoa, mutta normaaliajan ruuhkatilanteissa käytönvalvojen vastuulla on myös monia muita tehtäviä, jotka suurhäiriöllä on jaettu useammalle eri henkilölle. Tästä johtuen yksittäinen vika vaatii käytönvalvojalta suuremman työmäärään ruuhkatilanteessa kuin suurhäiriötilanteessa. Esimerkiksi vikapuheluiden vastaanottaminen ja viankorjausresurssien hälyttäminen on jaettu suurhäiriötilanteessa eri henkilöiden vastuulle, jolloin yksittäiseen vikaan liittyvä työkuorma jakaantuu. Tällöin käytönvalvojen on mahdollista keskittyä vikojen rajaamiseen ja kytkentöjen johtamiseen. Toisaalta ruuhkatilanteessakin käytönvalvoja voi pystyä tehokkaasti hoitamaan useita yhtäaikaista vikoa, jos viat alkavat harvakseltaan. Ratkaiseva tekijä on ehtiikö käytönvalvoja tekemään vikaan liittyvät kaukokäyttöiset rajaustoimenpiteet, viankorjausresurssien hälyttämisen ja asiakkaiden tiedottamisen ennen mahdollisen seuraavan vian alkamista. Jos käytönvalvoja ehtii suorittamaan edellä mainitut toimenpiteet aina ennen seuraavan vian alkamista, ei viivettä vikojen hoitamisessa synny, eikä käytönvalvontaan hälytettävillä lisäresursseilla välttämättä saavuteta huomattavaa lisäarvoa. Jos kuitenkin vikojen alkamistaajuus on niin suuri, etteivät vuorossa normaalisti olevat kaksi käytönvalvojaa ehdi aloittamaan vian hoitamiseen liittyviä toimenpiteitä uusille vioille välittömästi, tulee käytönvalvontaresursseja hälyttää lisää.

Lisäresurssien hälyttämiseen vaikuttava toinen tekijä, vikojen alkamistaajuuden lisäksi, on vikojen lukumäärä. Aiemmin mainittiin, että yksi käytönvalvoja pystyy hoitamaan useaa yhtäaikaista mutta eri aikaan alkavaa vikaa. Vikojen lukumäärän kasvaessa voi käytönvalvojan johdossa olevien viankorjausresurssien lukumäärä kasvaa niin suureksi, että kytkentöjen johtamiseen on syytä hälyttää lisäresursseja. Indikaattorina kytkentöjen johtamisen ruuhkautumisesta ovat useiden minuuttien mittaiset jonotusajat ryhmäpuhelinjärjestelmässä. Myös vikojen tyypit vaikuttavat keskeisesti siihen, kuinka suuren työmäärän ne käyttökeskuksessa ruuhkatilanteissa aiheuttavat. Pienjänniteverkon viat koskevat yleensä vain muutamia asiakkaita, minkä vuoksi niistä ei aiheudu yhtä huomattavia vikapuhelumääriä kuin taajamien keskijänniteverkon vioista. Sähköasemien ja alueverkon tai kantaverkon viat vaikuttavat hyvin laajoilla alueilla, mistä johtuen vikapuheluiden määrät kasvavat nopeasti näiden vikojen aikana. Laajoissa yksittäisissä vioissa käytönvalvoja pystyy usein kaukokäyttöisesti rajaamaan vika-alueen ja palauttamaan sähköt suurimmalle osalle asiakkaista kohtuullisen nopeasti, joten käytönvalvonnan lisäresurssitarpeiden arviointi on hyvin tapauskohtaista. Kuitenkin heti jos havaitaan, että sähköjen palautus isoille asiakasmäärille ei syystä tai toisesta onnistu, tulee käytönvalvontaan sekä vikapuhelinpalveluun hälyttää lisäresursseja. Voidaan karkeasti arvioida, että keskimääräisesti viat työllistävät käytönvalvojaa suoraan suhteessa jännitetasoon, jolla vika ilmenee. Pienjänniteverkon vioissa kaukokäyttöisesti tehtäviä toimenpiteitä ei käytännössä ole, kun taas keskijänniteverkon vioissa saattaa kaukokäytöllä tehtävään rajaukseen kulua useitakin minuutteja. Sähköasemavioissa ja alue- tai kantaverkon vioissa kaukokäyttöisesti tehtävään sähköjen palautukseen voi kulua joissain tapauksissa useita kymmeniäkin minuutteja. Tämä yleistys on kuitenkin liian karkea, jotta pelkästään vikatyypin lukumäärien perusteella voitaisiin automaattisesti päätellä tarvetta lisäresurssien hälyttämiselle.

Tulee pohtia kuinka helposti ja kuinka luotettavia raja-arvoja ruuhkatilanteiden hallintaan voidaan kehittää, suhteessa käytönvalvojien kouluttamiseen ja perehdyttämiseen. Kokemuseräisen tiedon merkitystä on käsitelty muun muassa Franssilan (2010) diplomityössä, jossa todetaan sukupolvenvaihdon prosessiteollisuuden valvonnassa aiheuttavan huolen kokemuseräisen tiedon häviämisestä lähitulevaisuudessa. Varsinkin toiminta poikkeus- ja häiriötilanteissa perustuu usein kokemukseen kyseisen tilanteen hoitamisesta ja tätä kokemustietämystä ei ole aina dokumentoitu (Franssila 2010). Kokemuseräisen tiedon dokumentointi, perehdyttäminen ja hyödyntäminen ovatkin tärkeitä asioita. Yhdessä sekä kokemustietoutta että työkaluja hyödyntämällä pystytään saavuttamaan tehokkain mahdollinen toiminta ruuhkatilanteissa.



## 5. KÄYTTÖKESKUSTOIMINNAN MITTAAMINEN

Tässä luvussa käsitellään käyttökeskuksen toiminnan seurannassa ja kehittämisessä hyödynnettäviä mittareita. Käyttökeskuksen toimintaa voidaan mitata monesta eri lähtökohdasta. Tämä tarkoittaa, että mittareita voi olla verkon valvonnan, vianhoidon tai vaikkapa sidosryhmien palvelun seurantaan. Mittareita tulee olla siis laaja-alaisesti, kuitenkin siten, että niiden avulla saadaan tietoa käyttökeskuksen tärkeimpien tehtävien hoitamisen tilasta. Haasteena käyttökeskuksen toimintaa kuvaavien mittareiden osalta on ulkopuolisten tekijöiden, kuten voimakkaiden sääilmiöiden aiheuttamien suurhäiriöiden, vaikutus mittareiden tuloksiin. Tätä lukua varten tehtiin haastatteluita Elenia Oy:ssä käytönvalvontaa tekeville henkilöille käyttökeskustoiminnan mittaamisesta. Lähestyminen mittaamiseen ja mittareihin otetaan siis vahvasti mittareihin vaikuttavan henkilöstön näkökulmasta. Elenia Oy:n sisäisten haastatteluiden lisäksi haastateltiin kahta muuta kriittistä infrastruktuuria valvovaa toimijaa. Luvun alussa käsitellään yleisesti mittaamiseen liittyvää teoriaa, jonka jälkeen käydään läpi, miten käyttökeskuksen toimintaa nykyisin mitataan. Lopussa pohditaan mahdollisia uusia mittareita sekä vanhojen mittareiden kehittämistä.

### 5.1 Mittaamiseen teoriaa

Mittaaminen voidaan käsittää usealla tavalla asiayhteydestä riippuen. Se saatetaan nähdä luonnontieteisiin perustuvana teknisenä toimintana, jossa mittalaitteella mitataan objektiivisesti jotain asiaa kuten lämpömittarilla lämpötilaa. Laajempänä käsitteenä mittaaminen voi tarkoittaa toimintaa, jonka avulla pyritään saamaan tietoa mielenkiinnon kohteena olevasta asiasta sen tilan selvittämiseksi. Esimerkiksi asiakkaille tehtävällä kyselyllä voidaan selvittää asiakkaiden tyytyväisyyttä palveluun tai tuotteeseen. Yrityksen toiminnan johtamisessa mittaaminen nähdään jälkimmäisenä laajempänä käsitteenä. Mittaamalla hankitaan informaatiota liiketoiminnan kannalta kiinnostavista tekijöistä, jolloin se on keskeisessä osassa johtamisen apuvälineenä. (Lönqvist et al. 2010)

Mittareilla on useita eri käyttötapoja yrityksestä riippuen. Yleisesti kuvattuna mittaamisella kontrolloidaan suunniteltujen asioiden toteutumista. Esimerkiksi strategia voidaan pilkkoa tavoitteiksi, joiden toteutumista voidaan mitata. Tällöin strategian toteuttamista on konkreettisempi esittää henkilöstölle. Kujansivu et al. (2007, s. 160) ovat teoksessaan luetelleet asioita joihin mittaamisella voidaan pyrkiä:

- informaation tuottaminen päätöksenteon tueksi
- henkilöstön motivointi
- palkitsemisen perustan luominen

- toimintatapojen kyseenalaistaminen
- liiketoiminnan ennakointi
- oppiminen omasta toiminnasta

Mittaamisen pyrkimykset riippuvat siitä, mikä taho mittareita käyttää. Yrityksen johto voi käyttää mittareita apuna toiminnan ohjaamisessa ja henkilöstön palkitsemisessa. Tiimi tai yksittäinen työntekijä sen sijaan voivat käyttää mittareita työnsä tuloksen tai tulospalkkauksen täyttämisen seuraamiseen. (Lönnqvist & Mettänen 2003, s. 109)

### 5.1.1 Mittarit ja niiden ominaisuudet

Mittarilla tarkoitetaan tunnuslukua tai täsmällisesti määriteltä tapaa kerätä informaatio- ta asian tai ilmiön tilan selvittämiseksi. Mitattava ilmiö voi olla esimerkiksi asiakastytyväisyys, jota mitataan asiakaskyselyihin perustuvalla indeksillä, tai turvallisuus, jota mitataan tapahtuneiden tapaturmien määrää seuraamalla. (Lönnqvist et al. 2010) Mittareita voidaan luokitella eri tavoin. Eräät luokittelut mittareille ovat taloudelliset ja ei-taloudelliset sekä pehmeät ja kovat mittarit. Nämä luokittelut eivät kuitenkaan tarkoita samaa asiaa, vaan mittarit voivat olla sekä taloudellisia että pehmeitä, kuin myös ei-taloudellisia ja kovia. Taloudelliset mittarit ovat rahamittaiseen tietoon pohjautuvia mittareita, kuten liikevaihto tai sähköverkkoliiketoiminnassa KAH-kustannus. Ne ovat pitkään käytössä olleita mittareita, joiden on havaittu hyvin kertovan oleellisen tiedon liiketoiminnan tuloksesta. On kuitenkin havaittu, että vain taloudellisilla mittareilla ei voida saavuttaa tarvittavaa tietoa nykyaikaisen organisaation tulokselliseen ohjaamiseen. Rahamittaiset mittarit ovat usein henkilöstölle vaikeaselkoisia ja saattavat rohkaista lyhyen tähtäimen voittojen tavoitteluun sekä osaoptimointiin. Taloudellisten mittareiden rinnalle ovat näin ollen kehittyneet ei-taloudelliset mittarit, joilla tarkastellaan organisaation eri osa-alueita muista kuin rahamittaisista lähtöarvoista. Esimerkkeinä ei-taloudellisista mittareista ovat toimitusaika ja asiakastytyväisyyskysely. Ei-taloudelliset mittarit voivat olla usein henkilöstölle konkreettisempia ja ohjaavampia kuin taloudelliset mittarit. Niiden käyttö ei ole kuitenkaan yhtä vakiintunutta ja tämän vuoksi myös niiden tulkinta ei ole yhtä luotettavaa kuin taloudellisten mittareiden. (Lönnqvist & Mettänen 2003)

Edellä mainitut liikevaihto ja KAH-kustannus ovat kovia mittareita. Kovat mittarit perustuvat yksikäsitteisiin lähtöarvoihin, kuten suoritteiden määrään tai tapahtumaan kuuluneeseen aikaan. Kovia mittareita voidaan kutsua myös objektiivisiksi mittareiksi, koska ne perustuvat määrälliseen tietoon mitattavasta ilmiöstä tai asiasta. Vastinparina ovat subjektiiviset eli pehmeät mittarit, joihin vaikuttavat ihmisten asenteet, näkemykset ja tuntemukset. Tällaisia mittareita ovat muun muassa erilaiset henkilöstölle tai asiakkaille tehtävät tyytyväisyyskyselyt. On myös mittareita, jotka ovat toisaalta sekä objektiivisia että subjektiivisia. Esimerkiksi asiakasreklamaatioiden määrän mittaaminen on objektiivinen mittari, mutta yksittäinen asiakasreklamaatio itsessään on subjektiivinen mittari,

koska se kuvastaa yhden asiakkaan näkemyksiä ja tuntemuksia. (Lönnqvist & Mettänen 2003)

Mittarit voivat olla myös suoria tai välillisiä. Jos tarkastellaan esimerkiksi tuottavuuden mittaamista, on valmistettujen tuotteiden määrä per niitä valmistava henkilö suora mittari tuottavuudelle. Välillinen tuottavuuden mittari olisi esimerkiksi prosessissa tapahtuvien odotusaikojen mittaaminen. Välillisiä mittareita on usein helppo luoda ja ne tarjoavat konkreettista tietoa toiminnan kehittämiseksi. Välillisissä mittareissa on kuitenkin syytä ottaa huomioon, että niiden tulokset eivät välttämättä kerro mittaamisen kohteeksi suunnitellun asian tilasta. Tämä johtuu siitä, että mittariin voivat vaikuttaa muutkin tekijät. (Lönnqvist et al. 2010, s. 108)

Hyvä mittari täyttää seuraavat mittausteoreettiset ominaisuudet mahdollisimman hyvin:

- validiteetti
- reliabiliteetti
- relevanssi
- käytännöllisyys

Validiteetilla tarkoitetaan mittarin kykyä mitata sitä asiaa, jota sillä on suunniteltu mitattavan. Jos mittarin tulokseen sisältyy systemaattinen virhe, sen validiteetti on heikko. Validiteetti liittyy molemmissa lähteissä (Lönnqvist et al. 2010; Lönnqvist & Mettänen 2003) esitettyyn mittaamisen ominaisuuteen, joka on se, että mittari ja mitattava ilmiö ovat eri asioita. Mitattavaa asiaa voidaan pyrkiä havainnoimaan usealla eri mittarilla, joista jokaiseen sisältyy kuitenkin epäolennaisen havainnointia ja toisaalta olennaisten asioiden huomiotta jättämistä. Reliabiliteetti puolestaan kuvaa mittarin antamien tulosten satunnaisvirhettä. Mittari on reliabeli, kun se antaa johdonmukaisia tuloksia, jotka eivät vaihtelee satunnaisesti. Validiteetti ja reliabiliteetti ovat sidoksissa toisiinsa siten, että satunnaisia tuloksia antavan (heikko reliabiliteetti) mittarin tulokset eivät voi kuvata tarkasti (heikko validiteetti) mitattavaa asiaa tai ilmiötä. Toisaalta jos mittarilla on heikko validiteetti, eli se antaa epäolennaisia tuloksia mitattavaan tekijään nähden, ei tulosten johdonmukaisuudella tai satunnaisuudellakaan ole mitään merkitystä. (Lönnqvist & Mettänen 2003)

Mittari on relevantti, jos se mittaa strategian toteutumisen kannalta tärkeää asiaa. Relevanssi siis kuvaa mittarin olennaisuutta sen käyttäjän kannalta. Mittarit, joista ei ole käyttäjälle lisäarvoa, ovat epärelevantteja. Mittaristoihin tulisi siis valita vain relevantteja mittareita, joista käyttäjä voi hyötyä. Viimeinen ominaisuus, jonka perusteella mittaria voidaan arvioida, on mittarin käytännöllisyys. Sitä voidaan pitää synonyymina mittarin kustannustehokkuudelle, eli kuinka hyödyllinen mittari on sen käyttäjälle suhteessa työhön, joka mittarin käytöstä aiheutuu. Jos mittaria on vaikea käyttää tai datan kerääminen työlästä ja hankalaa, voi olla, että mittarista saatava hyöty ei ole tämän arvoista.

Tällöin mittari ei ole käytännöllinen. Mittarin käytännöllisyyttä voivat arvioida mittarin käyttäjät ja siitä vastaavat henkilöt. (Lönqvist & Mettänen 2003)

## 5.2 Käyttökeskustoiminnan nykyinen seuranta ja mittarit

Elenia Oy:ssä yksiköiden, prosessien ja tiimien toimintaa seurataan niille laadittujen tulokorttien avulla. Korteille on kerätty kyseisen prosessin tai tiimin toiminnan kannalta oleellisten mittareiden tuloksia. Seuraavassa esitellään raportteja ja mittareita, joista osan tuloksia käyttökeskuksen tulokortille on kerätty. Yhteisten tulokorttien lisäksi henkilöstöllä on omat henkilökohtaiset tavoitesopimukset. Ne koostuvat sekä henkilökohtaisista tavoitteista, että korkeamman tason mittareiden tuloksista.

Kvantitatiivisia mittareita on viikoittain ja kuukausittain koostettavissa raporteissa. Käyttökeskus koostaa jokaisen viikon sunnuntaina viikkoraportin, joka sisältää sähköjakelun keskeytyksiin liittyviä tilastoja sekä selvityksen poikkeuksellisista tapahtumista. Raportissa esitettäviä tietoja ovat muun muassa:

- pitkän keskeytyksen (yli 3 min) kokeneiden asiakkaiden lukumäärä
- alle 6 h keskeytysten kokeneiden asiakkaiden lukumäärä
- asemakaava-alueen pitkien keskeytysten ja niiden sisältämien asiakkaiden lukumäärät
- yli 6 h keskeytysten ja niiden sisältämien asiakkaiden lukumäärät
- kaikkien sähkömarkkina-alueissa määriteltyjen keskeytysten korvausluokkien asiakasmäärät
- pien- ja keskijänniteverkon keskeytysten lukumäärät
- tiedot yli 3 ja 6 h keskeytyksistä sekä sähköasemavioista ja epäselektiivisistä laukaisuista

Raportista nähdään edellä esitetyt tiedot päättyvältä viikolta sekä kuluvalta kuukaudelta ja vuodelta. Samassa yhteydessä koostetaan erillinen raportti, joka sisältää FLIR tapausten käynnistymiseen ja onnistumiseen liittyvät prosentit. Lisäksi samassa raportoidaan niiden vikakeskeytysten prosentuaalinen määrä, joille on dokumentoitu työnaikainen sähköturvallisuuden valvoja.

Kuukausittain koostettavassa operatiivisen toiminnan raportissa seurataan toimintavarmuuteen liittyviä tunnuslukuja, keskeytyksistä aiheutuvia kustannuksia, asiakastyytyväisyyttä, vikapuhelinpalvelun toimivuutta, viankorjausaikoja, jännitetöiden määrää sekä suunnitelluista töistä kertyvää SAIDI:a. Toisessa kuukausittaisessa raportissa seurataan jälleenkytkentöjen lukumäärää, toimitusvarmuuskriteerien täyttymistä sekä vikamääriä johtolähdöittäin. Jälleenkytkentöjen lukumäärää lähdöittäin seurataan myös reaaliaikaisesti käyttökeskuksessa Hälvän diplomityössään (2013) suunnittelemalla työkalulla.

Kuukausittain ja viikoittain koostettavien raporttien lisäksi käytöntukijärjestelmästä haetaan myös muita listauksia tarpeellisiksi nähdyistä asioista. Tällaisia ovat esimerkiksi keski- ja pienjännitekeskeytysten tietojen täyttämisen oikeellisuus sekä komponenttinvaihtoa vaatineet vikatapaukset. (Lehtinen 2016)

Laadullista mittausta suoritetaan Nord Safety -ohjelmistolla. Prosessien laadun ja turvallisuuden seurantaan on ohjelmistoon luotu kyselylomakkeita itse- ja vertaisarviointiin sekä ilmoituslomakkeita turvallisuus- ja ympäristöhavaintojen kirjaamiseen. Käyttökeskuksen toimintaa koskevissa lomakkeissa on kysymyksiä liittyen verkon valvontaan, keskeytysten hoitamiseen ja raportointiin sekä vikapuheluiden hoitamiseen. Tällä hetkellä mitataan täytettyjen laatuarviointilomakkeiden määrää ja niiden vastauksista koostuvaa laatuindeksiä. Laatuindeksin seurannalla ja lomakkeiden kautta esiin tulevien poikkeamien analysoinnilla tarkkaillaan prosessin toimivuutta ja kehitetään sitä. Turvallisuuden seuranta on hyvin tärkeässä osassa. Turvallisuustapahtumien ja -havaintojen määrää seurataan ja ilmoitetut tapaukset käydään läpi vikapalveluprosessin ohjausryhmässä sekä tiimipalavereissa. Turvallisuustapahtumien perusteella lasketaan kokonais-turvallisuusindeksi (*LTIF – Lost Time Injury Frequency*), joka kertoo tapaturmien määrästä miljoonaa työtuntia kohden.

Asiakkaille tehdään kuukausittain kyselyitä vika- ja asiakaspalvelun onnistumisesta ulkoisen palveluntuottajan toimesta. Vikapalveluun liittyvien kyselyiden avulla selvitetään tyytyväisyyttä vikapuhelinpalveluun, keskeytyksistä informointiin sähkökatkokartan ja tekstiviestipalvelun avulla sekä tyytyväisyyttä vianhoitoon niiden osalta, jotka ovat kohdanneet asentajan. Näiden perusteella lasketaan indeksi vikapalvelutyytyväisyydestä kokonaisuutena. Käyttökeskuksessa ylläpidetään keskeytysten arvioituja päättymisaikoja, jotka välittyvät tekstiviestillä tai sähköpostilla asiakkaille ja näkyvät reaaliaikaisesti sähkökatkokartalla Internetissä. Käyttöön on otettu myös suunnitelluista sähkökatkoista tiedottaminen tekstiviestillä sekä sähköpostilla, mikä lisää käyttökeskuksesta ylläpidettävien tietojen oikeellisuuden merkitystä entisestään. Käyttökeskuksesta hoidetaan vikapuhelinpalvelua toimistotyöajan ulkopuolella. Vikapalvelutyytyväisyys -indeksi kuvaa käyttökeskuksen palvelutasoa asiakkaiden suuntaan kokonaisvaltaisesti.

### 5.3 Haastattelut ja kyselyt

Edellä esiteltiin eri mittareita, joita käytetään apuna käyttökeskuksen toiminnan seurannassa ja kehittämisessä. Tässä työssä on tarkoituksena kehittää tarkemmin käyttökeskuksen toiminnan tilasta kertovia mittareita. Työtä varten tehtiin kyselyitä ja haastatteluja Elenia Oy:ssä käytönvalvontaa tekeville henkilöille. Tämän lisäksi haastateltiin kahta muuta toimijaa, jotka valvovat kriittistä infrastruktuuria.

Pirkanmaan pelastuslaitoksen tilannekeskuksen toimintaa ja mittaamista koskeva haastattelu tehtiin palopäällikkö Ari Vakkilaiselle (Vakkilainen 2016) ja tieliikennekeskuksen toimintaa ja mittaamista koskeva haastattelu Tampereen tieliikennekeskuksen pääl-

likölle Marketta Udeliukselle (Udelius 2016). Liitteissä (liite C) on esitetty näille kahdelle toimijalle tehdyn haastattelun runko. Toimijoille tehtyjen haastatteluiden arvo jäi tämän työn kannalta vähäiseksi, koska kyseisten toimijoiden toimintaympäristöt eroavat sähköverkkoyhtiön käyttökeskuksen toiminnasta niin merkittävästi. Mainittakoon kuitenkin, että kummankaan toimijan tapauksessa valvomoiden toimintaa ei erikseen mitattu juuri valvomotoiminnan seurantaan räätälöityjen mittareiden avulla (Vakkilainen 2016; Udelius 2016). Tieliikennekeskuksella oli haastattelun aikaan menossa esiselvitys tuottavuuden ja laadun mittaamisesta (Udelius 2016). Näiden syiden takia haastatteluita ei laajemmin käsitellä tässä työssä. Joitakin haastatteluissa ilmi tulleita, työn kannalta oleellisia, yksityiskohtia on kuitenkin työssä esitetty ja niihin viitattu erikseen.

Elenia Oy:ssä käytönvalvontaa tekeville henkilöille tehdyillä kyselyillä ja haastatteluilla kartoitettiin, mihin mitattaviin ja seurattaviin asioihin käytönvalvontaa tekevät henkilöt tuntevat pystyvänsä vaikuttamaan työssään. Samalla selvitettiin, kuinka hyvin nykyisten mittarien koetaan ohjaavan toimintaa ja kuinka mitattaviin asioihin pystytään vaikuttamaan. Kyselyt toteutettiin väittämiä sisältävinä online-kyselyinä, joihin vastaajat antoivat omat subjektiiviset näkemyksensä. Käytönvalvojille ja käyttöinsinööreille tehtiin kyselyn lisäksi henkilökohtaiset haastattelut. Käytönvalvojille ja käyttöinsinööreille tehdyn online-kyselyn tulokset ja haastattelun runko on esitetty liitteissä (liite A). Oman toimen ohella käytönvalvontaa tekeviä henkilöitä on enemmän ja myös heille tehtiin online-kysely, joka koski käyttökeskustoiminnan mittaamista. Oman toimen ohella käytönvalvontaa tekeville henkilöille tehdyn kyselyn tulokset on esitetty liitteissä (liite B).

Kyselyissä kartoitettiin käytönvalvontaa tekevien henkilöiden näkemyksiä nykyisten käyttökeskuksen toimintaan liittyvien mittareiden ohjaavuudesta ja motivoivasta vaikutuksesta. Molemmille ryhmille tehty kyselyt olivat lähes samanlaisia, lukuun ottamatta oman toimen ohella käytönvalvontaa tekeville henkilöille lisättyjä kysymyksiä vikojen välittämisen vasteajasta, käämikytinten ja kompensointilaitteiden säädöstä ja verkon kytkentätilanteen määräystenmukaisuudesta. Näitä aiheita käsiteltiin kuitenkin vakituksille käytönvalvojille tehdyissä haastatteluissa. Käämikytinten ja kompensointilaitteiden säätötavan oikeellisuutta sekä verkon kytkentätilanteen määräystenmukaisuutta seurataan tällä hetkellä Nord Safety:n laatuarviointilomakkeilla. Sekä kyselyiden että haastatteluiden perusteella käämikytinten ja kompensointilaitteistoiden säädön valvonnan mittaaminen koetaan toimintaa hyvin ohjaavina mittareina, joihin myös pystytään vaikuttamaan. Mittaaminen ohjaa tekemään valvontaa järjestelmällisesti ja näin ollen esimerkiksi pienentää todennäköisyyttä verkon ali- tai ylikompensoinnista aiheutuville ongelmatilanteille, joita käsiteltiin luvussa 3.2.1.

Verkon kytkentätilanteen määräystenmukaisuuden tarkastamisen seuranta on kyselyiden perusteella hyvin toimintaa ohjaava mittari. Verkon kytkentätilanteen määräystenmukaisuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että johtolähtöjen oiko- ja maasulkuuojauksilla on edellytykset toimia suunnitellusti vallitsevassa kytkentätilanteessa. Haastatteluissa kävi ilmi, että koko verkon kytkentätilanteen määräystenmukaisuuden

tarkastaminen, eli oiko- ja maasulkulaskennan tekeminen ja tulosten tarkastaminen koko verkolle, ei ole kuitenkaan nykyisillä työkaluilla mahdollista järkevässä ajassa päivittäisen käytönvalvonnan ohella. Tämän vuoksi onkin selkeä tarve päivittäin koko verkolle tehtävälle automaattiselle laskennalle tai taustalla koko ajan toimivalle laskennalle. Automaattisella laskennalla määräystenvastaiset kytkentätilanteet havaitaan manuaalista tarkastelua helpommin ja nopeammin. Tällöin tilanteen normalisoivat kytkentätoimenpiteet pystytään toteuttamaan välittömästi ja todennäköisyys henkilö- ja materiaalivahingoille pienenee. Automaattinen laskenta ei kuitenkaan poista vastuuta käytönvalvojalta tarkastaa tekemiensä kytkentöjen jälkeen verkon oiko- ja maasulkusuojuuksien toiminnan edellytyksiä. Päivittäinen automaattilaskenta pitääkin nähdä ennemmin taustalla toimivana varotoimenpiteenä.

Molempien ryhmien kyselyiden tuloksista on selkeästi nähtävissä, että FLIRiin liittyviin mittareihin ei koeta pystyttävän käytönvalvonnassa vaikuttamaan, eivätkä ne ohjaa toimintaa oikeaan suuntaan. Päinvastoin ne saattavat aiheuttaa jopa ristiriitaisia tilanteita esimerkiksi KAH-kustannusten suhteen. Ristiriita johtuu siitä, että FLIRin toiminta keskeytyy, jos käytönvalvoja jatkaa FLIRin aloittamaa vianrajaamista KAH-kustannusten minimoimiseksi. FLIR ei kuitenkaan vielä toimi yhtä nopeasti kuin ihminen, minkä vuoksi juuri vikojen alkutilanteissa, joissa suuria asiakasmassoja on ilman sähköä, tulee vianrajaamisen ja sähkön palauttamisen olla nopeaa ja tehokasta. Erona FLIRin ja käytönvalvojan toiminnan välillä vian rajauksessa ja sähköjen palautuksessa on se, että FLIR suorittaa aina oikosulku- ja tehonjakolaskennat, kun käytönvalvoja saattaa tehdä kytkentöjä perustuen kokemukseen ja suorittaa laskennat vasta jälkikäteen kytkennän tarkastamiseksi. FLIRin ohjaussekvenssin onnistumisen ja käynnistymisen seuranta onkin järjestelmän kehittämisen kannalta tärkeää. Tulee miettiä ovatko FLIRin mittarit ennemmin järjestelmäkehitykseen kuin käyttötoimintaan liittyviä mittareita. Käynnistymättömien ja epäonnistuneiden ohjaussekvenssien selvittäminen ei ole mahdollista kesken käytönvalvonnan. Näiden tilanteiden analysointi on työlästä ja enemmän järjestelmäkehitykseen kuin operatiiviseen verkon valvontaan liittyvää työtä.

Palvelulupauksiin liittyvien mittareiden ohjaava vaikutus on koettu käytönvalvontaa tekevien henkilöiden keskuudessa hieman suurempana kuin vaikutusmahdollisuus kyseisiin mittareihin. Tämä johtuu käyttökeskuksen roolista keskeytyksen loppuvaiheessa, kun viankorjaus on käynnissä maastossa. Palvelulupausmittarit ohjaavat käytönvalvojaa koordinoimaan vian korjausta ja sähköjen palautusta varavoimalla mahdollisuuksien mukaan. On kuitenkin vikatilanteita, joissa käyttökeskuksen toiminnasta huolimatta keskeytysajat venyvät yli palvelulupausten. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi haastava viankorjaus maastossa tai suurhäiriötilanteet. Suurhäiriötilanteissa useille yhtä aikaisille vioille ei ole riittävästi paikallisia viankorjausresursseja, minkä vuoksi viivettä viankorjaukseen aiheutuu normaalia pidemmistä siirtymistä vikakohteisiin.

Vikakeskeytysten lukumääriin ei käyttökeskuksen toiminnalla pystytä suuresti vaikuttamaan. Tämä näkyy myös kyselyiden tuloksissa. Hiukan paremmin koetaan kuitenkin

pystyttävän vaikuttamaan jälleenkytkentöjen lukumääriin. Kyselyn väite olisi pitänyt muotoilla koskemaan toistuvien jälleenkytkentöjen lukumäärää, mutta nykyinenkin tulos kertoo siitä, että jälleenkytkentöjen toistuvuuteen pystytään vaikuttamaan vikakeskeytyksiä enemmän. On tärkeää, että käytönvalvontaa tekevät henkilöt tiedostavat, että reagoimalla aikaisessa vaiheessa toistuviin jälleenkytkentöihin saavutetaan säästöjä KAH-kustannuksissa, joilla mallinnetaan asiakkaille keskeytyksistä aiheutuvaa haittaa. Jos heti toisen lyhyen ajan sisään samalla johtolähdöllä tapahtuneen jälleenkytkennän jälkeen muutetaan kyseisen johtolähdön kytkentää, paikallistuu viallinen verkon osa tarkemmin seuraavalla jälleenkytkennällä. Voidaan siis katsoa, että jokainen toistuva jälleenkytkentä, jota ennen ei ole tehty kytkentämuutosta, aiheuttaa KAH-kustannuksia, jotka olisi voitu välttää. Kaukokäyttöisesti tehtävillä verkon kytkentämuutoksilla pystytään paikantamaan johto-osa, jossa jälleenkytkentöjä aiheuttava vika sijaitsee. Koska kytkentöjen tekeminen ei aiheuta kustannuksia, olisi kytkentämuutoksia syytä tehdä jo heti toisen lyhyen ajan sisään tapahtuneen jälleenkytkennän jälkeen. Poikkeuksena tähän ovat kuitenkin ukkoset, jolloin jälleenkytkennöiltä ei voida ilmajohdoverkossa välttää.

### 5.3.1 Käyttökeskustoiminnan mittaamisen haasteet

Osaan nykyisistä käyttökeskustoiminnan mittareista vaikuttaa käytönvalvojien oman toiminnan lisäksi moni muu taho ja tekijä, mikä onkin käyttökeskustoiminnan mittaamiseen liittyvä haaste. Kyselyistä ja haastatteluista kävi ilmi, että käytönvalvontaa tekevät henkilöt kokivat vaikutusmahdollisuutensa joidenkin mittareiden tuloksiin rajallisiksi. Välillinen mittari saattaa tarjota selkeää informaatiota, jonka perusteella kehittää toimintaa, mutta on tärkeää muistaa tarkastella muiden kuin mitattavan kohteen vaikutuksia mittarin tuloksiin. Jos käyttökeskuksen toiminnan mittarit ovat liian välillisiä, voi niiden perusteella olla hankala arvioida tarkasti juuri käyttökeskuksen toiminnan tilaa. Esimerkiksi KAH-kustannuksiin ja palvelulupauksien toteumaan vaikuttavat käyttökeskuksen toiminnan lisäksi, automaation toiminta, verkon maakaapelointiaste sekä urakoitsijan viankorjauksen tehokkuus. Kyseiset mittarit ovat tärkeitä koko liiketoiminnan onnistumisen ja kehittymisen seurannassa, mutta niiden kautta käyttökeskustoiminnan onnistumisen analysointi voi olla hankalaa. Edellä esimerkkinä käytetyt mittarit ovatkin mittareita, joilla pyritään ohjaamaan käyttökeskustoimintaa haluttuun suuntaan. Lisäksi tarvitaan mittareita joilla saadaan informaatiota käyttökeskustoiminnan kehittämiseksi ja toiminnan tilan seuraamiseksi.

Eräs käyttökeskuksen toiminnan mittaamisen haaste on voimakkaat sääilmiöt. Voimakkaiden myrskyjen tai lumikuormien aiheuttamat suurhäiriöt näkyvät useissa käyttökeskustoiminnan mittareissa. Tämä havaittiin käytönvalvojille tehdyissä haastatteluissa yhdeksi käyttökeskuksen toiminnan mittaamisen haasteeksi. Jos mittarin tavoitteet karrikaavat saavuttamattomiin yhden tai useamman myrskyn takia, saattaa mittarin motiivoiva vaikutus normaaliajan toiminnassa jäädä vähäiseksi. Haastatteluissa kävi ilmi



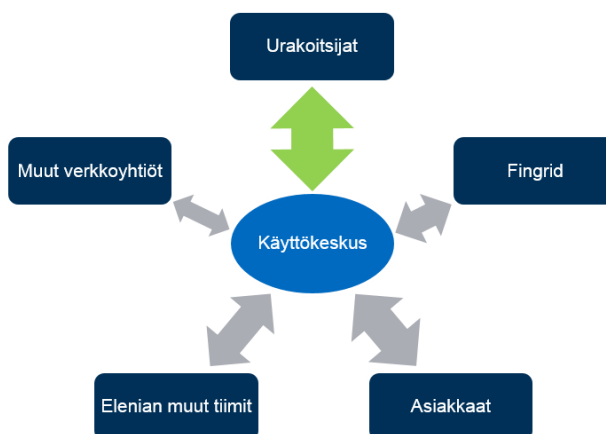
myös oman toimen ohella käytönvalvontaa tekevien henkilöiden vaikutus käyttökeskus-toiminnan mittaamiseen. Onkin syytä harkita joidenkin käyttökeskuksen toiminnan mittareiden viemistä myös oman toimen ohella käytönvalvontaa tekevien henkilöiden tulokorteille tai tuoda mittareiden tuloksia muuta kautta heidän tietoonsa. Näin mittareiden ohjaava vaikutus saavuttaisi myös käytönvalvontavuoroja oman toimen ohella tekevät henkilöt. Tästä ovat esimerkkinä luvun 5.5 lopussa ehdotetut keskeytystietojen täyttämiseen ja keskeytysten validointien seurantaan liittyvät mittarit.

## **5.4 Toiminnan turvallisuus ja laatu**

Käyttökeskustoiminnassa ensiarvoisen tärkeitä asioita ovat toiminnan turvallisuus ja laatu. Käyttökeskuksen toiminnan turvallisuuden seuranta tapahtuu luvussa 5.2 esitellysti Nord Safety -ohjelmistolla osana koko yhtiön turvallisuushavaintojen seurantaa. Nykyinen seuranta on havaittu toimivaksi turvallisuushavaintoilmoitusten määrän kasvassa, joten kyseiseen toimintamalliin tehtäviä muutoksia on syytä harkita tarkkaan (Kupila 2016). Luvussa 5.4.1 käsitellään käyttökeskuksen toiminnan turvallisuuden seurantaa, nykyisen toimintamallin ohella, laatuun liittyviä mittaamenetelmiä pohdittaessa.

### **5.4.1 Sidosryhmien palvelu**

Käyttökeskuksen sidosryhmiä ovat asiakkaat, urakoitsijat, kantaverkkoyhtiö Fingrid sekä muut verkkoyhtiöt. Myös Elenian sisällä muut tahot kuten käytönsuunnittelu, verkon sähköinen suunnittelu ja suojauskoordinointi voidaan nähdä sidosryhminä. Tässä luvussa käsitellään käyttökeskuksen sidosryhmien palvelun mittaamista erityisesti urakoitsijoiden tapauksessa. Asiakkaiden palvelun mittaamista on käsitelty jo luvussa 5.2, joten sitä ei tässä luvussa enää käsitellä. Kuvassa 6 on esitetty käyttökeskuksen ja sen sidosryhmien välisiä vuorovaikutussuhteita. Nuolien paksuudella kuvataan käyttökeskuksen ja sidosryhmän välillä käydyn kommunikoinnin ja yhteistyön määrää suhteessa muihin sidosryhmiin.



**Kuva 6.** Käyttökeskuksen ja sidosryhmien välisen vuorovaikutuksen määrää kuvattu nuolien paksuudella

Joka arkipäivä Elenian verkossa toteutetaan useita verkon rakennus- ja kunnossapitotöitä, joihin liittyviä kytkentöjä käyttökeskuksesta johdetaan. Näiden töiden lisäksi kaikki vikakeskeytykset johdetaan käyttökeskuksesta lukuun ottamatta toimistotyöaikana urakoitsijan itsenäisesti hoitamia pienjänniteverkon vikoja. Tämä tarkoittaa, että suhteessa muihin sidosryhmiin, tehdään käyttökeskuksesta päivittäin eniten yhteistyötä urakoitsijoiden kanssa. Tämä vuorovaikutussuhde on kuvassa 6 korostettu vihreällä. Jotta toimintaa käyttökeskuksen ja urakoitsijoiden välillä olisi helpompi tarkastella mittaamisen näkökulmasta, voidaan käyttökeskus ajatella eräänlaisena palveluntuottajana. Käyttökeskuksen tulee tuottaa turvallista, laadukkaasta ja tehokasta kytkentöjen johtamista, jotta rakennus- ja kunnossapitotyöt sekä viankorjaus onnistuvat maastossa sujuvasti. Voimajohto- ja sähköasematöihin liittyvät kytkennät ja varasyöttötarpeet sekä keskeytykset tulee olla suunniteltu sovitun aikataulun mukaisesti käyttökeskuksen toimesta. Näiden palvelujen tuottamisen mittaamiseen voidaan käyttää sekä kovia että pehmeitä mittareita.

Käyttökeskuksen palvelutasosta kertovia pehmeitä mittareita ei tällä hetkellä mittaristossa ole muita kuin asiakastyytyväisyydestä kertovat mittarit. Tarve tällaisille mittareille kävi ilmi käytönvalvojille tehdyissä haastatteluissa (Lehtinen 2016; Kangassalo 2016; Okka 2016; Tomula 2016; Tuomola 2016; Viitanen 2016). Koska suurin osa päivittäisestä yhteistyöstä ja kommunikoinnista käydään urakoitsijoiden kanssa, koetaan heiltä saatava palaute käytönvalvojien keskuudessa tärkeäksi. Urakoitsijoilta järjestelmällisesti kerättävä palaute nähtäisiin hyödylliseksi käyttökeskuksen toiminnan seurannassa ja kehittämisessä. Edellinen käyttökeskuksen palvelutasoa koskeva kysely on tehty urakoitsijoille ja Elenian henkilöstölle vuonna 2012 ja se sisälsi 23 kysymystä. Kyselyn kysymykset käsittelivät seuraavia käyttökeskukseen ja käytönvalvojiin liittyviä aiheita:

- käyttökeskuksen tavoitettavuus ja ryhmäpuhelinjärjestelmä
- asiointia käytönvalvojien kanssa
- sähköturvallisuuden valvonta ja turvalliset toimintatavat
- kytkentöjen johtaminen
- pienjänniteverkon vianhoidon toimintamalli
- käytönvalvojien osaamistaso
- asiakkaiden tiedolla palvelu
- ympäristövahinkojen hoitaminen

Vastaava laaja kysely voitaisiin teettää urakoitsijoilla vuosittain tai puolivuositain käyttökeskuksen palvelutason kokonaiskuvan kartoittamiseksi. Näin pystyttäisiin seuraamaan käyttökeskuksen palvelutason kehitystä pitkällä aikavälillä. Pidemmällä aikavälillä on kyselyn tulosten avulla mahdollista havaita ja analysoida toimintatapojen ja ohjeistuksien muutosten vaikutuksia käyttökeskuksen palvelutasoon.

Vuosittain tai puolivuositain tehtävän kokonaisvaltaisen palvelutasokyselyn lisäksi tulisi harkita lyhempien ja useammin tehtävien palautekyselyiden toteuttamista. Ne voisivat liittyä esimerkiksi yksittäisten kytkentäohjelmien, vikojen, rakennusohjelmakohdeiden tai sähköasemaprojektien toteuttamiseen käyttökeskuksen kanssa. Lyhyillä ja nopeasti vastattavissa olevilla kyselyillä saataisiin palaute tuoreeltaan käyttökeskuksen kanssa asioinnin jälkeen. (Kupila 2016) Ne olisivat myös laajaa kyselyä tarkemmin kohdennettavissa joihinkin käyttökeskuksen vuoroihin, jolloin olisi mahdollista seurata onko vuorojen välillä suurta vaihtelua palvelutasossa. Usein tehtävään palautekyselyyn vastaaminen tulisi olla mahdollisimman helppoa ja nopeaa, jotta siihen vastaamista ei koeta liian vaivalloiseksi.

Kyselyn tekemiseen voitaisiin esimerkiksi hyödyntää jo käytössä olevaa Nord Safety -ohjelmistoa, jota voidaan käyttää maastossa mobiililaitteella. Otetaan esimerkiksi yksittäiseen rakennus- tai kunnossapitotyöhön liittyvän kytkentäohjelman toteuttaminen käyttökeskuksen kanssa. Kytkentäohjelman toteutuksen jälkeen urakoitsija vastaa Nord Safety:ssä kyselylomakkeeseen, joka koskee kytkentäohjelmaa. Lomakkeelle kirjataan kyseisen kytkentäohjelman käytöntukijärjestelmässä yksilöivä ID, sekä kytkentöjen alkamis- ja loppumisajankohta. Lomakkeen kysymyksiin vastataan vaihtoehdoilla positiivinen, neutraali tai negatiivinen. Lisäksi on mahdollista antaa vastausta perusteleva ja tarkentava sanallinen selitys. Kysymysten muotoilu on mietittävä tarkkaan, jotta niihin saatavilla vastauksilla pystytään arvioimaan haluttuja asioita käyttökeskuksen toiminnasta. Rakennus- ja kunnossapitotöihin liittyvän kytkentäohjelman palautteen tapauksessa kysymysten tulisi käsitellä käyttökeskuksen kytkennän johtamisen turvallisuutta, laatua ja asiantuntemusta kyseisen kytkentäohjelman osalta. Vikatapauksissa lomakkeella voitaisiin puolestaan esimerkiksi kysyä, onko viasta välitetty kaikki tarvittavat tiedot urakoitsijalle. Osa kysymyksistä olisikin käyttökeskuksen kanssa asiointiyhteydestä riippumattomia, kaikkiin tapauksiin sovellettavia, kysymyksiä. Osa taas olisi tarkemmin

räätälöity tapauksen tyypistä riippuen, kuten edellä esitetty vikatapauksen hoitamiseen liittyvä esimerkkikysymys.

Eräs osa-alue käyttökeskuksen palvelutason mittaamisessa on urakoitsijoiden ryhmäpuhelinjärjestelmässä kokema jonotusaika heidän soittaessaan käyttökeskukseen. Varsinkin suurihäiriöillä ja arkipäivinä, jolloin verkossa tehdään yhtäaikaaisesti useita rakennus- ja kunnossapitotöitä, johtaa yksi käytönvalvoja usean eri työryhmän töihin liittyviä kytkentöjä. Tällöin saattaa syntyä tilanteita, jolloin urakoitsijan soittaessa käyttökeskuksen ryhmäpuhelinjärjestelmään, joutuu hän odottamaan vuoroaan käytönvalvojan johtaessa toisen työryhmän töihin liittyviä kytkentöjä. Jonotusajat ovat pisimpiä suurihäiriöillä, jolloin työryhmiä yhden käytönvalvojan ohjauksessa voi olla kymmeniä. Rauhallisina arki-iltoina sen sijaan jonottamaan joutuu harvoin. Suurihäiriöiden ja rauhallisten arki-iltojen välille sijoittuvat normaalit arkipäivät rakennus- ja kunnossapitotöineen.

Ryhmäpuhelinjärjestelmässä koetun jonotusajan mittaaminen on käyttökeskuksen palvelutason seuraamiseksi tärkeää, koska sen avulla pystytään seuraamaan käyttökeskuksen työmäärää ja mahdollista ruuhkautumista. Jonotusaika kertoo myös suunniteltujen keskeytysten ja vikakeskeytysten hoitamisen tehokkuudesta. Tässä kohdassa on tärkeää huomauttaa, että jonotusajan mittaaminen ei saa ohjata lyhentämään ryhmäpuhelinjärjestelmässä käytävien puheluiden kestoja turvallisuuden tai kytkentöjen johtamisen kannalta muun oleellisen tiedonvaihdon kustannuksella. Tämän painottaminen nykyisille ja uusille käytönvalvontaa tekeville henkilöille on erittäin tärkeää.

Ryhmäpuhelinjärjestelmässä urakoitsijoiden kokemia jonotusaikoja tulisi mitata objektiivisella, järjestelmästä kerättäviin tietoihin perustuvalla mittarilla. Tämä johtuu siitä, että esimerkiksi kyselyiden yhteydessä kerättävät subjektiiviset näkemykset saattavat vaihdella jonotusaikojen mukaan huomattavasti. Vaikka subjektiiviset näkemykset pitkistä jonotusajoista ovat täysin oikeita, saatetaan pelkästään niitä seuraamalla saada väärä käsitys käyttökeskuksen jonotusaikojen kokonaistilanteesta. Tämän vuoksi jonotusaikojen seuranta tulisi perustua ryhmäpuhelinjärjestelmään soittaneen henkilön keskimääräisesti kokemaan jonotusaikaan. Näin mittari olisi objektiivinen ja se kuvastaisi paremmin kokonaistilannetta ryhmäpuhelinjärjestelmässä koetuista jonotusajoista. Jos mittaria seurataan viikoittain tai kuukausittain, voidaan keskimääräinen jonotusaika laskea viikon tai kuukauden aikana ryhmäpuhelinjärjestelmään soittaneiden henkilöiden jonotusajasta. Toisaalta, jos keskimääräinen jonotusaika lasketaan esimerkiksi viimeisen kymmenen puhelun perusteella, voitaisiin mittarilla seurata reaaliaikaisesti suurihäiriö ja ruuhkatilanteissa yksittäisten käytönvalvojien työmäärää. Tällöin se toimisi työkaluna luvussa 4.3.2 käsiteltyyn ruuhkatilanteiden hallintaan. On myös harkittava tulisiko yksittäisten pitkien jonotusten lukumäärää ja ajankohtaa seurata. Näin voitaisiin selvittää, onko kyseessä aina samankaltaisia tilanteita, jotka ruuhkauttavat käyttökeskuksen ryhmäpuhelinliikenteen. Vasta kun ongelmatilanteet tunnistetaan, pystytään niihin reagoimaan oikeilla toimenpiteillä.

## 5.5 Prosessien noudattaminen

Prosessien noudattamisella tarkoitetaan tässä sovittujen käytäntöjen noudattamista, kuten vikakeskeytykseen liittyvien tietojen täyttämistä. Kyselyiden (liite A; liite B) perusteella käytönvalvontaa tekevien keskuudessa koetaan kovien, tietojen täyttämiseen ja prosessin suorittamiseen liittyvien, mittareiden olevan hyviä. Tulos on odotettu, sillä näihin asioihin vaikutetaan vain käyttökeskuksessa. Sovittujen käytäntöjen noudattamisen laadusta kertovien mittareiden palaute on selkeää ja kertoo suoraan, jos jotain tietoja jätetään täyttämättä tai sovittuja käytäntöjä ei noudateta. Raportoinnin kannalta on tärkeää, että keskeytyksiin liittyvät tiedot täytetään sovitusti ja keskeytykset tarkastetaan ja validoidaan käytöntukijärjestelmässä keskeytyksen päättävän käytönvalvojan toimesta. Koska käytöntukijärjestelmään kirjaudutaan henkilökohtaisilla tunnuksilla, on mahdollista viedä tietojen täyttämisen seuranta henkilötasolle, jolloin perehdytys ja ohjeistus voidaan kohdistaa entistä paremmin. Seuranta keskeytyksen tietojen täyttämisestä ja työnaikaisen sähköturvallisuuden valvojan kirjaamisesta tehdään henkilötasolla jo tällä hetkellä vakituksille käytönvalvojille. Vakituiset käytönvalvojat pystyvät kuukausittain koostettavasta raportista seuraamaan omaa henkilökohtaista onnistumistaan keskeytystietojen täyttämässä. Sama seurantamalli olisi syytä ottaa käyttöön myös oman toimen ohella käytönvalvontaa tekeville henkilöille. Sen avulla henkilö voi seurata omaa onnistumistaan käytönvalvontavuoroissa tehtävissä raportoinneissa ja kirjauksissa.

Seuranta tulisi laajentaa koskemaan myös keskeytysten tarkastamista ja validointia. Kun keskeytys tarkastetaan ja validoidaan välittömästi tai mahdollisimman pian sen päättymisen jälkeen, saadaan raportoitua siihen liittyvät tiedot tarkasti ja oikein. Seuranta ohjaisi jokaista käytönvalvontaa tekevän henkilön tarkastamaan ja validoimaan päättyneet keskeytykset oman vuoronsa aikana. Kaikkien viikon aikana tapahtuneiden keskeytysten tulee olla tarkastettu ja validoitu sunnuntaina tehtävää viikkoraporttia varten. Viikkoraportin sisältö esiteltiin luvun 5.2 alussa. Seuranta ohjaisi toimintaan, jossa keskeytyksien tietojen täyttämistä, tarkastamista ja validointia ei tarvitsisi tehdä jälkikäteen sunnuntaina ennen viikkoraportin koostamista. Sunnuntaina viikkoraportin tekijän on työläs ja joissain tapauksissa mahdoton selvittää aiemmin viikolla tapahtuneisiin keskeytyksiin liittyviä tietoja. Keskeytysten tarkastuksen ja validointien seuranta siis vähentäisi ylimääräisen selvitystyön määrää ja parantaisi kerättävien keskeytystietojen laatua.

## 5.6 Ajallinen tehokkuus

Vasteajalla tarkoitetaan tässä työssä aikaa, joka käyttökeskuksella kuluu vian ilmenemisestä sen välittämiseen urakoitsijalle korjattavaksi. Elenian käyttökeskuksen vianhoidon vasteaikaa ei tällä hetkellä erikseen mitata. Tällä hetkellä keskeytyksellisiin vikoihin liittyvää ajallista seuranta tehdään keskimääräisiä keskeytysaikoja urakointialuekohtaisesti mittaamalla sekä yksittäisiä pitkiä vikoja analysoimalla. Vikakeskeytyksen koko-

naisaika pien- ja keskijänniteverkoissa koostuu eri tekijöistä. Osa keskeytyksen kokonaisajasta syntyy sen alkuvaiheessa käyttökeskuksessa, ennen kuin tieto ja tilaus viankorjauksesta välitetään urakoitsijalle. Keskeytysaika lasketaan käytöntukijärjestelmällä keskeytykseen liittyneiden sähkötkatkaisevien ja palauttavien tapahtumien perusteella. Käyttökeskuksen vikojen välittämisen vasteaikaa tulee mitata, jotta keskeytysajasta voidaan erotella vian alkuvaiheessa käyttökeskuksessa vian käsittelyyn kulunut aika ja urakoitsijalla maastossa vian korjaukseen kulunut aika.

Käyttökeskuksen tekemää vianhoitoa voidaan jossain määrin verrata hätäkeskuksen ja pelastuslaitoksen tilannekeskuksen tehtävien hoitamiseen. Hätäkeskus vastaanottaa ilmoituksen, kerää siihen liittyvät tiedot ja lähettää yksikön kohteeseen kiireellisyydestä tehdyn arvion perusteella (L 692/2010). Tämän jälkeen pelastuslaitoksen tilannekeskus tarjoaa yksikölle tarvittavia tukitoimintoja, kuten esimerkiksi rakennetietoja palavasta rakennuksesta. Tilannekeskus tarjoaa tukitoimintoja, joten sen vasteaikoja ei suoranaisesti erikseen mitata, vaan sen toiminta näkyy koko tehtävän hoitoon kuluneessa ajassa. Pelastuslaitoksen tehtäviin liittyviä muita aikoja seurataan sekunnin tarkkuudella. Tällaisia ovat esimerkiksi hälytyksen vastaanotto, pelastusajoneuvojen lähtöaika ja kohteeseen saapumisaika. (Vakkilainen 2016) Sähköverkkojen valvonnan tapauksessa käyttökeskus saa tiedon viasta joko automaation tai asiakasilmoituksen kautta. Ennen urakoitsijan hälyttämistä vian korjaukseen vika-alue rajataan kaukokäyttöisillä kytkinlaitteilla ja siitä kerätään kaikki järjestelmistä ja mahdolliselta ilmoittajalta saatavilla oleva tieto. Tämän jälkeen käyttökeskus välittää tiedot viasta urakoitsijalle. Käyttökeskus johtaa vian korjaukseen liittyviä kytkentöjä ja tarjoaa tukitoimintoja urakoitsijan asentajille kunnes vika on korjattu. Kuten pelastuslaitoksen tilannekeskuksen toimintaa ei erikseen mitata, on myös käyttökeskuksen osuutta vianhoidon loppuvaiheessa hankala arvioida ja mitata. Sen sijaan vianhoidon alkuvaiheessa käyttökeskuksessa vian käsittelyyn ja välittämiseen kuluva aika voidaan mitata.

Tämän hetken toimintamallissa käyttökeskus välittää tiedon viasta urakoitsijalle ryhmäpuhelinjärjestelmällä soittamalla. Samassa yhteydessä lähetetään käytöntukijärjestelmästä kaupallinen vikatilaus urakoitsijalle. Normaalina työaikana pienjänniteverkon viat välitetään vikapuheluvastaajien toimesta käytöntukijärjestelmällä urakoitsijan päivystäjälle, joka koordinoi päiväsaikaan tapahtuvaa pienjänniteverkon vikojen korjausta alueellaan. Seuraavassa luvussa tarkastellaan käyttökeskuksen vasteajan mittaamista, aina vian ilmenemisestä sen urakoitsijalle välittymiseen, pien- ja keskijänniteverkon tapauksissa. Vianhoitoprosessia tarkastellaan luvussa vain käyttökeskuksen näkökulmasta eikä toimistotyöaikana käytöntukijärjestelmän kautta välitettävien pienjänniteverkon vikojen seurantaan käsitellä.

### 5.6.1 Vasteajan mittaaminen pien- ja keskijänniteverkon vioissa

Pienjänniteverkon vioissa käytönvalvoja kirjaa käytöntukijärjestelmään vikailmoituksen asiakkaan ilmoituksen tai AMR-hälytyksen perusteella. Vikailmoituksen ensimmäinen hyväksyminen tallentaa vikailmoituksen järjestelmään ja kyseinen ajanhetki tallentuu vikailmoituksen kirjausajaksi. Tietojen kirjaamista usein jatketaan tämän jälkeen jo tallennetulle vikailmoitukselle. Kun vikailmoitus on täytetty, perustetaan käytöntukijärjestelmään keskeytys, avaamalla sulakkeita kuvaava kytkin tai vaihtoehtoisesti avata niin sanottu jomppi, jolla voidaan käytöntukijärjestelmässä katkaista vika-aluetta syöttävä johto halutusta kohtaa. Käytöntukijärjestelmään keskeytyksen perustavan tapahtuman aikaleimaksi kirjautuu automaattisesti vikailmoituksen kirjausaika jos vikailmoitus on kirjattu alueelle jota perustettu keskeytys koskee. Jos vikailmoitus on kirjattu käyttöpäikalle joka ei kuulu keskeytysalueeseen, keskeytyksen alkamisaika kirjautuu juuri sille ajanhetkelle, jolloin kytkin tai jomppi on käytöntukijärjestelmässä avattu. Keskeytys päätetään käytöntukijärjestelmässä käytönvalvojan toimesta, kun asentaja ilmoittaa, että sähköt maastossa on palautettu. Päätymisajaksi kirjautuu ajanhetki, jolloin kytkin tai jomppi käytöntukijärjestelmässä suljetaan.

Keskijänniteverkon vioissa keskeytys perustuu käytöntukijärjestelmään automaattisesti katkaisijan lauetessa. Näin ollen keskeytyksen aloittavan tapahtuman aika kirjautuu käytöntukijärjestelmään tarkasti ilman käytönvalvojan toimenpiteitä. Vika rajataan kaukokäyttöisillä erottimilla automaation tai käytönvalvojan toimesta, jonka jälkeen käytönvalvoja hälyttää urakoitsijan rajaamaan ja korjaamaan vikaa maastoon. Keskeytys päättyy, kun vian korjauksen jälkeen erottimella tai katkaisijalla palautetaan sähkö asiakkaalle.

Käyttökeskuksen vasteajan mittaaminen vikatapauksissa tulisi alkaa keskeytyksen alkamisajasta. Edellä esitetysti tämän ajanhetken muodostuminen riippuu siitä, onko kyseessä pien- vai keskijänniteverkon vika. Molemmissa vikatyypeissä vasteaika kuitenkin tulisi päättyä samalla periaatteella siihen ajanhetkeen, jolloin tieto viasta ja siihen liittyvistä tiedoista on välitetty urakoitsijalle. Tätä hetkeä voidaan seurata tietojärjestelmistä ainakin kahdella eri tavalla. Näitä toetutukseen ja tarkkuuteen liittyviä eroja käsitellään seuraavaksi.

Inhimillisistä tekijöistä riippumaton tarkka aikaleima vian välittämisestä urakoitsijalle saataisiin ryhmäpuhelinjärjestelmän lokitiedoista. Tällöin seuranta tapahtuisi hetkeltä, jolloin käytönvalvoja on todellisuudessa soittamalla hälyttänyt urakoitsijan vianhoitoon. Toinen mahdollinen vaihtoehto on seurata käytöntukijärjestelmästä urakoitsijalle tehtävän kaupallisen tilauksen lähettämisen ajanhetkeä. Nykyisin toimintamalli on kuitenkin sellainen, että yksistään kaupallisen tilauksen tekeminen ei ole urakoitsijalle indikaattori ryhtyä akuutin vianhoitoon, vaan tilauksen lisäksi vaaditaan päivystysaikana aina hälytys soittamalla. Kaikissa vikatapauksissa ei ole mahdollista tietää vikatyyppejä etukäteen,

jonka vuoksi kaupallisen tilauksen tekemistä on saatettu viivästyttää kunnes on oltu varmoja vikatyypistä ja näin myös korjaukselle kohdistettavan tilauksen tyypistä. Tällä käytännön toimintatavalla on pyritty vähentämään manuaalista tilausten korjaamista ja pyritty tekemään oikean tyyppinen tilaus yhdellä kertaa. Jos vasteaikaa mitataan kaupallisen tilauksen lähettämisaikahetken perusteella, on erittäin tärkeää, että käytännön toimintatavaksi otetaan kaupallisen tilauksen lähettäminen soittamalla tehdyn hälytyksen yhteydessä. Jos kaupallinen tilaus tehdään ennen urakoitsijan hälyttämistä vialle tai vasta hälytyksen jälkeen, syntyy vasteajan mittaukseen virhettä. Ryhmäpuhelinjärjestelmän lokitietojen perusteella tehtävässä seurannassa tätä virhettä ei pääse syntymään, koska vasteaika mitataan todellisesta ajanhetkestä, jolloin urakoitsija saa tiedon viasta. Elenian nykyisillä tietojärjestelmillä vasteajan mittaaminen on kuitenkin helpommin toteutettavissa kaupallisen tilauksen lähettämisen aikaleiman perusteella. Ryhmäpuhelinjärjestelmä on Elenialla erillinen ohjelmisto, kun taas kaupallisen tilauksen tekeminen ja keskeytysten hallinta ovat molemmat käytöntukijärjestelmässä. Näistä tietojärjestelmien toteutuksiin liittyvistä syistä, on vasteajan mittaaminen tällä hetkellä helpommin toteutettavissa kaupallisen tilauksen seurantaan perustuen.

Tulevaisuuden tavoitteena on kehittää tietojärjestelmiä ja toimintamalleja suuntaan joka mahdollistaa urakoitsijan hälyttämisen vianhoitoon ilman soittamista. Tällöin hälytys vianhoitoon ja vikaan liittyvät tiedot välitetään urakoitsijan asentajalle tietojärjestelmän kautta. Vasteajan mittaamisen näkökulmasta muutos olisi hyvä, sillä tietojärjestelmän kautta tehdyn hälytyksen aikaleima olisi yksiselitteisesti käyttökeskuksen vasteajan mittaamisen päättymishetki. Toimintamallista saatava ensisijainen hyöty ei kuitenkaan liity vasteajan mittaamiseen, vaan toimintamalli vähentäisi käyttökeskuksen puheluliikennettä ja mahdollistaisi vikaan liittyvien tietojen välittämisen asentajalle suoraan tekstimuotoisena. Kyseinen toimintamalli on käytössä esimerkiksi Tampereen tieliikennekeskuksen ja heidän urakoitsijoidensa välillä (Udelius 2016).

Vasteajan mittaamisessa on mietittävä myös sen ohjaavaa vaikutusta käytönvalvontaan. Se ei saa ohjata käytönvalvojia tekemään vikaan liittyvää selvitystä ja rajausta hätiköiden, jolloin virheiden mahdollisuudet kasvavat. Urakoitsijalle tulee pystyä välittämään kaikki viasta saatavilla oleva tieto, jotta vianpaikannus ja -korjaus voidaan maastossa suorittaa tehokkaasti. Varsinkin pienjänniteverkon vikailmoituksia vastaanottaessa on ilmoittajan perusteellinen haastattelu tärkeää, jotta turhilta viankorjaustilauksilta vältytään. Esimerkiksi asiakkaiden pääsulake palojen ja puhelinjohdoille kaatuneiden puiden selvittäminen vikapuhelun aikana on tärkeää, koska muutoin saatetaan tehdä viankorjaustilaus urakoitsijalle viasta, joka ei koske verkkoyhtiön omistamaa sähköjakeluverkkoa. Myös keskijänniteverkon vikojen rajaaminen kaukokäytöllä tulee suorittaa tehokkaasti ja priorisoiden. Vasteajan mittaaminen ei saa aiheuttaa kaukokäyttöisillä erottimilla tehtävän rajaamisen optimointia vain mahdollisimman nopeaksi, jolloin asiakkaille aiheutuva haitta kokeilukytkennöistä saatetaan jättää huomioimatta. Edellä mainittujen asioiden vuoksi on käyttökeskuksen mahdollista vasteaikamittaria syytä



tulkita harkiten sellaisena mittarina, joka suoraan kertoisi käyttökeskuksen vianhoidon alkuvaiheen tehokkuudesta.

## 5.7 Loistehon hallinnan seuranta

Käytönvalvojien mahdollisuudet loistehon hallintaan ja säätöön ovat vielä rajalliset, kuten luvussa 4.2.3 kerrottiin. Vasta kun jakeluverkkoon on asennettu riittävä määrä reaktoreita kompensoimaan kapasitiivista loistehoa, on käytännössä enemmän säätömahdollisuuksia loistehon hallintaan. Ennen tätä on liittymispisteiden loistehoikkunoiden ylityksiin hankala vaikuttaa käyttökeskuksesta suoritettavin toimenpitein. Luvussa 4.2.3 kerrottiin Kenttälän (2016) diplomityössään esittämästä reaktoreiden säädöstä, joka tulee tarpeelliseksi siinä vaiheessa, kun reaktoreita on verkossa niin paljon, että suurimpien kuormitusten aikaan ylitetäänkin loistehon ottorajoitus. Tätä varten Kenttälä on esittänyt työssään (2016) reaktoreiden automaattista hystereesisäätöä. Tällöin käyttökeskuksesta ei tarvitse tehdä toimenpiteitä loistehoikkunoissa pysymiseksi, vaan automatiikka ohjaa reaktoreita verkkoon ja irti verkosta tarpeen mukaan. Reaaliaikainen loistehoikkunoiden seuranta tulee kuitenkin ottaa käyttöön, jotta käyttökeskuksesta voidaan valvoa automaattisen säädön onnistumista. Lisäksi laajojen ja pitkäaikaisten kytkentämuutosten vaikutusta loistehojen virtauksiin liittymispisteissä tulee pystyä valvomaan käyttökeskuksesta.

Koska loistehoikkunoiden ylityksistä aiheutuu loistehomaksuja, on selkeä taloudellinen peruste mitata loistehoikkunoissa pysymistä. Käyttökeskuksen toiminnan laadun näkökulmasta ei kuitenkaan välttämättä ole mielekästä seurata kaikkia loistehoikkunoiden ylityksiä, koska mahdollisuudet loistehon säätöön ovat rajalliset. Kuitenkin epänormaaleista kytkentätilanteista tai reaktoreiden vikaantumisista johtuvat loistehoikkunoiden ylitykset ovat käyttökeskuksen kannalta oleellisia, koska poikkeustilanteiden ja vikojen aikaisten loistehoikkunoiden ylitysten maksuttomuuden edellytyksenä ovat sovitun mukaiset ilmoitukset Fingridille (Fingrid 2016c). Käyttökeskuksen toiminnan laadun kannalta on siis syytä mitata niitä loistehoikkunoiden ylityksiä, jotka aiheutuvat verkon poikkeuksellisista tilanteista tai reaktoreiden vikaantumisista, koska näistä ei tulisi aiheutua loissähkömaksuja, jos ilmoituskäytännöt on hoidettu sovitusti. Tulevaisuudessa voi olla myös syytä tarkastella, onko kiinteillä reaktoreilla toteutettavan loistehon kompensoinnin lisäksi kannattavaa optimoida loistehoikkunoissa pysymistä kytkentätilanteita muuttamalla. Tämä niin ikään lisäisi käytönvalvojien vastuuta loistehoikkunoissa pysymisestä.

## 6. YHTEENVETO

Käyttökeskus toimii sähköverkkoyhtiön operatiivisen toiminnan keskiössä, vastaten joka hetki jakeluverkon turvallisesta, luotettavasta ja taloudellisesta käytöstä. Sähköverkkoyhtiön toimintaympäristön ja jakeluverkon rakenteen muuttuessa huomattavasti, tulee käyttökeskustoimintaa alati kehittää ja toiminnan tilaa seurata, jotta muutosten aiheuttamiin haasteisiin pystytään vastaamaan. Tässä työssä tarkasteltiin kirjallisuuskatsauksen pohjalta neljää toimintaympäristön muutosta ja arvioitiin niiden vaikutusta jakeluverkkoyhtiön käyttökeskustoimintaan. Toimintaympäristön muutoksiin vastaamiseksi pohdittiin käyttökeskuksen toimintamallien ja työkalujen kehittämistarpeita haastatteluiden ja oman työkokemuksen pohjalta. Tämän lisäksi työssä käsiteltiin käyttökeskustoiminnan mittaamista, joka on olennainen osa toiminnan kehittämistä. Mittareita lähestyttiin niiden ohjaavuuden ja motivoivan vaikutuksen näkökulmasta, tekemällä haastatteluita ja kyselyitä Elenia Oy:ssä käytönvalvontaa tekeville henkilöille. Tähän näkökulmaan liittyi myös se, millaista tietoa käytönvalvontaa tekevät henkilöt kaipaaisivat mittareista käyttökeskustoiminnan tilan seuraamiseksi ja toiminnan kehittämiseksi.

Toimintaympäristön muutoksista hajautetun tuotannon yleistymisellä nähtiin olevan merkittävimmät vaikutukset käyttökeskustoimintaan. Hajautetun tuotannon yleistymisen jakeluverkoissa monimutkaistaa verkon käyttöä ja muuttaa verkon käytön periaatteita. Se synnyttää myös turvallisuusriskejä, jotka tulee huomioida ja pyrkiä minimoimaan. Ensimmäisenä asiana käytönvalvonnassa tulee ottaa huomioon hajautettujen tuotantolaitosten aiheuttamien takasyöttömahdollisuuksien turvallisuusriskien hallinta. Jakeluverkkoon liitettyjen tuotantolaitosten lukumäärän kasvaessa on entistä todennäköisempää, että työkohte sisältää takasyöttöjä, jotka vaativat erottamista, jännitteen kytkennän estämistä ja maadoitusta. Tietojärjestelmiä ja toimintatapoja tuotantolaitosten havaitsemiseksi ja erottamiseksi keskeytystilanteissa tuleekin kehittää. Toisena asiana, hajautetun tuotannon lisääntyessä korostuu käytönvalvojen kompetenssin ylläpitäminen ja kasvattaminen. Luvussa 3.1.1 käsitelty suojausongelmat näkyvät konkretisoituessaan ensimmäisenä käyttökeskuksessa työskenteleville käytönvalvojille. Tällöin virheellisten suojaustoimintojen tunnistaminen ja toiminta poikkeuksellisten vikatilanteiden selvittämiseksi riippuu pitkälti käytönvalvojan tietotaidosta. Toisaalta hajautettu tuotanto tulee tarjoamaan sähkömarkkinoille ja jakeluverkkojen käytölle palveluita, joiden hyödyntämisessä käyttökeskuksella saattaa tulevaisuudessa olla rooli. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi tuotantolaitosten ajosuunnitelmien vahvistamista verkon käyttötilanteen näkökulmasta.

Maakaapeloinnin synnyttämiin loistehon kompensointitarpeisiin reagoidaan tällä hetkellä laajemmassa mittakaavassa tehtävillä reaktoreiden asennuksilla. Loistehoa on ennen

aktiivisesti hallittu käyttökeskuksesta kondensaattoreiden avulla, mutta nykyisin ongelma on sähköisestä näkökulmasta päinvastainen ja kapasitiivista loistehoa hallitaan reaktoreilla. Elenia Oy:n tapauksessa reaktoreiden säätö tulee olemaan automaattista, mutta niiden käyttöä ja säätöä tulee silti aktiivisesti valvoa käyttökeskuksesta. Reaktoreiden käyttöön ja säätöön liittyvät erityispiirteet, kuten kytkentäilmiöt, tulee ottaa huomioon jakeluverkon käytönvalvonnassa. Tämän lisäksi verkossa tehtävien kytkentöjen vaikutukset liittymispisteiden loistehoikkunoihin tulee ennalta huomioida, jotta ennakkoilmoitukset ylityksistä voidaan tehdä kantaverkkoyhtiölle. Myös reaktoreihin liittyvien vikatilanteiden hallinta tulee olla tarkkaan ennalta suunniteltua. Vaikka maasulkuvirtojen kompensointiratkaisuiden käyttö on jo hyvin vakiintunutta, on työssä nähty, että sammutuskelojen käytön ja säädön valvontatyökaluja tulisi kehittää entisestään, jotta kompensoimattomista suurista maasulkuvirroista aiheutuvat ongelmat vältetään.

Tieto- ja kyberturvallisuushkien osalta työssä painotettiin henkilöstöstä lähtöisin olevien tieto- ja kyberturvallisuusriskien minimointia. Työssä käsitellyissä kyberhyökkäys esimerkeissä ensisijainen murtautuminen järjestelmiin on tapahtunut henkilöstöstä tai käyttäjistä lähtöisin olevia heikkouksia hyödyntäen eikä niinkään teknisen toteutuksen avulla. Käytönvalvojien, kuin myös muun henkilöstön, jatkuva tieto- ja kyberturvallisuuskoulutus nähdäänkin työssä hyvin tärkeäksi. Kyberriskuissa on hyödynnetty myös entistä enemmän toimialakohtaista teknistä järjestelmäosaamista, mikä kasvattaa myös teknisten tieto- ja kyberturvallisuustoteutusten kehittämisen merkitystä. Nykyisen järjestelmäkokonaisuuden ja henkilöstön kyberturvallisuuden tasoa tulisi tulevaisuudessa testata ja samalla tarkastella millaisia seurauksia kyberhyökkäyksellä voisi olla.

Yhteiskunnan sähköriippuvuuden ja tehopulatilanteen todennäköisyyden kasvamisen takia on nähty, että toimintatapoja ja työkaluja tehopulatilanteen hallitsemiseksi on yhä syytä kehittää. Sähköriippuvuus näkyy myös kiristyneinä jakeluverkon toiminnan laatuvaatimuksina, mihin voidaan korvausinvestointien lisäksi osaltaan vaikuttaa käyttökeskuksen toimintaa kehittämällä. Esimerkiksi välittömiä toimenpiteitä vaativien hälytysten erilaisella indikoinnilla pystyttäisiin parantamaan käyttökeskuksen reagointia ja mahdollistettaisiin tehokkaampi kokonaisvaltainen työskentely verkon valvonnan ohella. Ruuhkatilanteiden hallintaan voidaan pyrkiä luomaan työkaluja käyttökeskustoiminnan reaaliaikaisen mittaamisen avulla. Tästä huolimatta kokemukseen perustuva tietämys on edelleen nähty tärkeäksi osaksi sähkönjakeluprosessiin liittyvien poikkeustilanteiden hallintaa.

Käyttökeskustoiminnan mittaamista käsittelevissä haastatteluissa ja kyselyissä havaittiin tarpeita sekä vanhoille että uusille mittareille. Tärkeimpänä yksittäisenä mittaamisen alueena työssä korostettiin käyttökeskuksen palvelutasoa urakoitsijoiden suuntaa. Käyttökeskuksen ja urakoitsijoiden välinen vuorovaikutus on päivittäistä, joten sen mittaaminen on hyvin perusteltua. Tarve urakoitsijoilta saatavalle palautteelle kävi ilmi erityisesti käytönvalvojille tehdyissä haastatteluissa. Työssä ehdotetaan palvelutason mittamista sekä subjektiivisesti että objektiivisesti. Subjektiivisena mittarina toimisivat ura-

koitsijoille tehtävät kyselyt. Pidemmällä aikavälillä tehtävällä laajemmalla kyselyllä voitaisiin seurata palvelutason kehittymistä yleisellä tasolla. Useammin, esimerkiksi yksittäisten kytkentäohjelmien tai vikatapausten jälkeen, tehtävillä lyhyillä kyselyillä olisi puolestaan tarkoitus kerätä palautetta käyttökeskuksen palvelutasosta tuoreeltaan heti asentajien käyttökeskuksen kanssa asioinnin jälkeen. Myös usein tehtävien lyhyiden kyselyiden vastauksista voitaisiin koostaa indeksiä palvelutason seuraamiseksi.

Käyttökeskuksen ja urakoitsijoiden välinen keskustelu käydään suurilta osin ryhmäpuhelinjärjestelmässä kytkentöjä johdettaessa. Tästä syystä ryhmäpuhelinjärjestelmän jonotusaikojen mittaaminen on tärkeä osa käyttökeskuksen palvelutasoa. Jonotusajan mittaamiseksi ehdotetaan objektiivista järjestelmästä saataviin tietoihin perustuvaa keskimääräisen jonotusajan seuranta. Mittarin tulisi mahdollisuuksien mukaan olla reaaliaikainen, jolloin sitä voitaisiin hyödyntää myös ruuhkatilanteissa käytönvalvojen työkuorman seuraamiseksi. Objektiivista mittaria ehdotetaan, jotta saadaan luotettava käsitys jonotusaikojen kokonaistilanteesta eikä arvio perustu vain satunnaisiin subjektiivisiin kokemuksiin jonotusajoista. Tämän lisäksi kyselyiden kautta saatavat palautteet pitkistä jonotusajoista tulee käydä läpi erikseen, jotta usein toistuvat ongelmatilanteet voidaan tunnistaa ja toimintatapoja kehittää.

Käyttökeskuksen vasteajan mittaamisen on todettu olevan välttämätöntä, mutta sen tulkitsemisen on oltava erityisen tarkkaa. Vikojen välittämisen vasteaikaa tulee mitata, jotta keskeytyksen kokonaisajasta voidaan erotella käyttökeskuksessa vian selvittämiseen ja rajaamiseen käytetty aika, ennen kuin urakoitsija on saanut hälytystä viankorjaukseen. Vaikka käyttökeskuksen vasteaika ei olisi suuri, on sen mittaaminen urakoitsijoiden tasapuolisen seurannan takaamiseksi tärkeää. Sen sijaan käyttökeskuksen toiminnan seuraamiseksi mittaria tulee tulkita tarkasti, jotta se ei ohjaa vikojen käsittelyssä hätiköintiin. Työssä todetaan myös vasteajan mittaamisen toteutustavan osaltaan vaikuttavan sen ohjaaviin vaikutuksiin. Tulevaisuudessa vasteajan mittaamisen merkitys voi kuitenkin entisestään kasvaa, kun vikojen korjaamisen ja sähköön palauttamisen tulee olla entistä nopeampaa. Tällöin tulee kuitenkin arvioida toiminnan nopeuden ja laadun suhdetta. Toiminnan ajallinen seuranta ei saa ohjata nopeuttamaan toimintaa laadun ja turvallisuuden kustannuksella.

Tässä työssä ehdotettuja ja pohdittuja käyttökeskustoiminnan mittareita on tarkasteltu vahvasti henkilöstön näkökulmasta. Mittareiden tutkinnassa pyrittiin keskittymään erityisesti käyttökeskuksen toiminnan tilan seurantaan ja informaation tuottamiseen käyttökeskuksen toiminnan kehittämiseksi, minkä vuoksi mittareiden strategialähtöinen tarkastelu on jätetty vähemmälle. Esiteltyjä mittareita voi olla siis tarve vielä tarkastella tarkemmin myös strategian toteuttamisen näkökulmasta. Työssä käsitellyt kehitysideat ja mittarit vaativat vielä tarkempaa tutkimusta myös niiden teknisen toteuttamisen suhteen.

## 6.1 Itsearviointi

Työn painopiste muuttui alkuperäisestä suunnitelmasta, koska haastattelut muille kriittisen infrastruktuurin valvojille eivät tukeneet alkuperäistä suunnitelmaa. Tämä johtui osakseen siitä, että yhtä haastattelua ei pystytty koskaan toteuttamaan. Merkittävämpää oli kuitenkin kahdelle kriittisen infrastruktuurin valvojalle tehtyjen haastatteluiden heikosti toteutetut haastattelurungot ja haastatteluiden rönsyily ohi aiheesta. Paras tulos muiden valvontatoimijoiden toimintamallien tarkasteluun olisi saatu yhden kokonaisen työpäivän mittaisella tutustumisella heidän toimintaansa. Työtä varten tehdyissä haastatteluissa ei saatu luotua näkökulmaa valvontatoimintaan yleisellä tasolla toimialariippumattomasti. Elenialla käytönvalvontaa tekeville henkilöille tehtyt haastattelut ja kyselyt onnistuivat hyvin, mutta niidenkin huolellisemmalla suunnittelulla olisi voitu saavuttaa työn kannalta vielä oleellisempaa aineistoa. Lisäksi työn tutkimus- ja kirjoitusprosessien aikataulut olisi tullut tehdä määrätietoisemmin, jolloin työn tekeminen olisi edennyt tasaisemmin. Parhaiten työssä onnistui toimintaympäristön muutosten käsittely sekä käyttökeskuksen kehitystarpeiden pohdinta ja esittäminen. Myös käyttökeskustoiminnan uusien ja vanhojen mittareiden käsittely haastatteluiden ja kyselyiden pohjalta onnistui hyvin.

## LÄHTEET

ABB Oy. (2013). MicroSCADA Pro SYS 600 9.3 System Configuration. Version D/28.1.2013. 238 s.

Ackermann T., Andersson G. & Söder L. (2001). Distributed generation: a definition, Electric Power Systems Research 57, 195-204 s. Saatavissa: [http://paginas.fe.up.pt/~cdm/DE2/DG\\_definition.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~cdm/DE2/DG_definition.pdf)

Aminoff A., Lappeteläinen I., Partanen J., Viljainen S., Tahvanainen K., Järventausta P. & Trygg P. (2009). Ostopalveluiden käyttö verkkoliiketoiminnassa. Espoo, VTT, VTT Tiedotteita 2462. 101 s.

Capricode Systems. (2016). Tuotteet - Ryhmäpuhelu. [WWW]. [Viitattu 27.09.2016]. Saatavissa: <http://www.capricodesystems.com/tuotteet/>

Chiradeja P. & Ramakumar R. (2004). An approach to quantify the technical benefits of distributed generation. IEEE Transactions on energy conversion, Vol. 19, No. 4, December 2004, pp. 764-773.

Elovaara J. & Haarla L. (2011). Sähköverkot II: verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Tallinna, Otatieto. 550 s.

Energiateollisuus. (2016a). Hajautettua sähkön pientuotantoa. [WWW]. [Viitattu 29.1.2017]. Saatavissa: [http://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon\\_pientuotanto](http://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_pientuotanto)

Energiateollisuus. (2016b). Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Verkkodokumentti. 4 s. [Viitattu 26.10.2016]. Saatavissa: [http://energia.fi/files/1248/Ohje\\_tuotannon\\_liittamisesta\\_jakeluverkkoon\\_PAIVITETTY\\_20160427.pdf](http://energia.fi/files/1248/Ohje_tuotannon_liittamisesta_jakeluverkkoon_PAIVITETTY_20160427.pdf)

Energiateollisuus. (2016c). Tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon – nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen. Verkkodokumentti. 4 s. [Viitattu 24.11.2016]. Saatavissa: [http://energia.fi/files/1249/tekninen\\_liite\\_1\\_-\\_enintaan\\_100\\_kVA\\_PAIVITETTY\\_20160427.pdf](http://energia.fi/files/1249/tekninen_liite_1_-_enintaan_100_kVA_PAIVITETTY_20160427.pdf)

Energiateollisuus. (2011). Connection of micro-generation to the electricity distribution network YA9:09. Verkkodokumentti. 20 s. [Viitattu 31.10.2016]. Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotato\\_connection\\_of\\_micro-generation\\_to\\_the\\_electricity\\_distribution\\_network.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotato_connection_of_micro-generation_to_the_electricity_distribution_network.pdf).

Energiavirasto. (2016a). Sähköverkon haltijat. [WWW]. [Viitattu 1.4.2016]. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkon-haltijat>.

Energiavirasto. (2016b). Energiaviraston selvitys sähkön siirtohintojen muutoksista ja siirtohinnoittelun kohtuullisuuden valvonnasta. Verkkodokumentti. 12 s. [Viitattu 22.7.2016]. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/Energiaviraston+selvitys+03022016.pdf/9ff449ea-67e6-4321-824e-96d72a2d6286>

Energiavirasto. (2015). Määräys sähköverkkotoiminnan tunnusluvuista ja niiden julkaisemisesta. Verkkodokumentti. 16 s. [Viitattu 22.7.2016]. Saatavissa: [https://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/Tunnuslukum%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ys+S%C3%84HK%C3%96%202015\\_11\\_30.pdf/c49924c2-17b4-43a1-84df-c9daf972baeb](https://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/Tunnuslukum%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ys+S%C3%84HK%C3%96%202015_11_30.pdf/c49924c2-17b4-43a1-84df-c9daf972baeb)

Falliere N., O Murchu L. & Chien E. (2011). W32.Stuxnet Dossier. Symantec. February 2011. 68 p. [Viitattu 5.1.2017]. Saatavissa: [http://www.symantec.com/content/en/us/enterprise/media/security\\_response/whitepapers/w32\\_stuxnet\\_dossier.pdf](http://www.symantec.com/content/en/us/enterprise/media/security_response/whitepapers/w32_stuxnet_dossier.pdf)

Fingrid Oyj, Sederlund J. & Parviainen P. (2016a). Kantaverkkoon liittymisen periaatteet. Verkkodokumentti. 17 s. [Viitattu 11.10.2016]. Saatavissa: [http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Kantaverkkopalvelut/Liittymisen\\_periaatteet.pdf](http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Kantaverkkopalvelut/Liittymisen_periaatteet.pdf)

Fingrid Oyj. (2016b). Suomen sähköjärjestelmän tehopulatilanteiden hallinta – ohje sidosryhmille. Verkkodokumentti. [Viitattu 6.1.2017]. Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/Voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20hallinta/K%C3%A4ytt%C3%B6varmuuden%20yll%C3%A4pito/Toimintaohje%20tehopulatilanteessa%202016.pdf>

Fingrid Oyj. (2016c). Loissähkön toimitus ja loistehoreservin ylläpito. Verkkodokumentti. 10 s. [Viitattu 15.12.2016]. Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Kantaverkkopalvelut/Kantaverkkosopimus2016/Loissähkön%20toimituksen%20ja%20loistehoreservin%20ylläpito.pdf>

Forsström S. (2007). Sähköverkkoyhtiön tietojärjestelmien kehittäminen. Diplomityö. Espoo. Teknillinen korkeakoulun, Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. 108 s + liit. 12 s. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2007/urn009951.pdf>.

Franssila H. (2010). Käytönaikainen prosessin operointikäytäntöjen kehittäminen - tapaututkimus kemiantehtaassa. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Automaatiotekniikan koulutusohjelma. 54 s + liit. 11 s.

Guldbrand A. Earth Faults in Extensive Cable Networks. (2009). Licentiate thesis. Lund, Sweden 2009. Lund University. Department of Measurement Technology and Industrial Electrical Engineering. 121 s.

Heikkilä T. (2014). Sähköverkon toimitusvarmuuteen liittyvien valvontamenetelmien kehittäminen. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan koulutusohjelma. 63 s.

Hellgrén M., Heikkinen L. & Suomalainen L. (1992). Energia ja ympäristö. Helsinki, Opetushallitus, Porin teknillinen oppilaitos. 299 s.

Hirvonen R. (2002). Suomen energiavisio 2030 : Suomenkielinen tiivistelmä. VTT Prosessit. 30 s. [Viitattu 28.1.2017] Saatavissa: [http://www.vtt.fi/files/projects/energy\\_book\\_series/ev\\_2030\\_tiivistelma.pdf](http://www.vtt.fi/files/projects/energy_book_series/ev_2030_tiivistelma.pdf)

Hälvä V. (2013). Development of Process Data Utilization in Proactive Network Management. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan koulutusohjelma. 90 s.

ICS-CERT. (2016). Recommended Practice: Improving Industrial Control System Cybersecurity with Defense-in-Depth Strategies. U.S. Department of Homeland Security, 49 p. [Viitattu 13.2.2017] Saatavissa: [https://ics-cert.us-cert.gov/sites/default/files/recommended\\_practices/NCCIC\\_ICS-CERT\\_Defense\\_in\\_Depth\\_2016\\_S508C.pdf](https://ics-cert.us-cert.gov/sites/default/files/recommended_practices/NCCIC_ICS-CERT_Defense_in_Depth_2016_S508C.pdf)

Ikäheimo J., Evens C. & Kärkkäinen S. (2010). DER Aggregator Business: the Finnish Case. VTT Research report VTT-R-06961-09, INCA, VTT, Espoo 8.3.2010, p. 39.

Immonen A. (2015). Kyberturvallisuuden tilannekuva energia-alalla. XCure Solutions Oy. Voimatalouspoolin ja Huoltovarmuuskeskuksen tilaama tilannekartoitus. Verkko-dokumentti. 5 s. [Viitattu 4.1.2017] Saatavissa: <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/julkaisut/>

Järventausta P., Verho P., Partanen J. & Kronman D. (2011). Finnish Smart Grids - a migration from version one to the next generation. CIRED. 21st International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Frankfurt am Main, Germany, June 6-9, 2011, 4 p.

Kenttälä A-I. (2016). Jakeluverkon loistehohallinnan suunnitelma. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. 89 s + liit. 4 s.

Koponen P. (2010). Teollisuusautomaation tietoturva: verkottumisen riskit ja niiden hallinta, liite 4: Energian jakeluautomaation tietoturva. Suomen Automaatioseura ry, Turvallisuusjaosto, 2005. Verkkopainos 2010. 127-141 s. [Viitattu 5.1.2017] Saatavissa:



[https://www.viestintavirasto.fi/attachments/cip/5na1SblCp/SAS29\\_TeollisuusautomaatioonTietoturva.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/cip/5na1SblCp/SAS29_TeollisuusautomaatioonTietoturva.pdf)

Koto A. (2010). Tietojärjestelmien väliset rajapinnat sähköjakeluverkon käyttötoiminnassa. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan koulutusohjelma. 102 s + liit. 2 s.

Kujansivu P., Lönnqvist A., Jääskeläinen A. & Sillanpää V. (2007). Liiketoiminnan aineettomat menestystekijät. Helsinki, Talentum. 204 s.

Kumpulainen L. & Kauhaniemi K. (2004). Distributed generation and reclosing coordination. Nordic Distribution and Asset management Conference 2004. Espoo, Finland, August 23 - 24, 2004, 12 p.

Kumpulainen L., Rinta-Luoma J., Voima S., Kauhaniemi K., Sirviö K., Koivisto-Rasmussen R., Valkama A-K., Honkapuro S., Partanen J., Lassila J., Kaipia., Haakana J., Annala S., Järventausta P., Valkealahti S., Repo S., Verho P., Suntio T., Rautiainen., Nikander A. & Pakonen P. (2016). Roadmap 2025 - Sähkömarkkina- ja verkkovisio 2035 & Roadmap 2025. Vaasan yliopisto, Oy Merinova Ab, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto. 27 s. [Viitattu 6.5.2016]. Saatavissa: <http://vaasanseutu.fi/app/uploads/sites/7/2015/02/Loppuraportti.pdf>

L 19.12.2016/1135. Sähköturvallisuuslaki.

L 9.8.2013/588. Sähkömarkkinalaki.

L 29.12.2011/1552. Valmiuslaki.

L 20.8.2010/692. Laki hätäkeskustoiminnasta.

Laine M. (2010). Benefits of an automatic fault management system for the medium voltage distribution network operator. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan koulutusohjelma. 66 s.

Lakervi E. & Partanen J. (2008). Sähköjakelutekniikka. 3.painos. Helsinki, Otatieto Helsinki University Press. 285 s.

Lehto, I. (2009). Mikrotuotannon liittäminen yleiseen sähköjakeluverkkoon. Diplomityö. Espoo. Teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan laitos. 101 s.

Lönnqvist A. & Mettänen P. (2003). Suorituskyvyn mittaaminen – tunnusluvut asian-tuntijaorganisaation johtamisvälineenä. Helsinki, Edita. 147 s.

Lönnqvist A., Jääskeläinen A., Kujansivu P., Käpylä J., Laihonen H., Sillanpää V., Vuolle M. (2010). Palvelutuotannon mittaaminen johtamisena välineenä. Helsinki, Tietosanoma Oy. 232 s.

Manninen J. (2014). Visualization requirements and concepts for a combined SCADA and Distribution Management System. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan koulutusohjelma. 77 s.

Myllylä T. (2014). Sähköverkkojen kyberturvallisuus. Diplomityö. Espoo. Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu. 62 s.

Mäki K. (2007). Novel Methods for Assessing the Protection Impacts of Distributed Generation in Distribution Network Planning. Väitöskirja. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. 69 s.

Mäki K., Repo S. & Järventausta P. (2005). Protection coordination to meet the requirements of blinding problems caused by distributed generation. WSEAS Transactions on Circuits and Systems, Vol. 4, Issue 7, pp. 674-683.

Pekkala H. (2010). Challenges in Extensive Cabling of the Rural Area Networks and Protection in Mixed Networks. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. 130 s + liit. 47 s.

Raipala O., Mäkinen A., Repo S. & Järventausta P. (2012). The Effect of Different Control Modes and Mixed Types of DG on the Non-Detection Zones of Islanding Detection. CIRED Workshop, 29-30 May, Lisbon, Portugal. Frankfurt am Main : CIRED, 2012. p. 1-4.

Raipala O., Repo S. & Järventausta P. (2013). Network information system based loss of mains risk management. 22nd International Conference on Electricity Distribution, CIRED 2013, 10-13 June 2013, Stockholm, Sweden. Institution of Engineering and Technology & CIRED, 2013. p. 1-4 0460 (International Conference and Exhibition on Electricity Distribution).

Repo S., Laaksonen H., Mäki Kari., Mäkinen Antti. & Järventausta P. (2005). Hajaute-  
tun sähköntuotannon vaikutukset keskijänniteverkossa. Tutkimusraportti 2005:3. Tam-  
pereen teknillinen yliopisto, Sähkövoimatekniikan laitos. 169 s.

SANS Industrial Control Systems & E-ISAC. (2016). Analysis of the Cyber Attack on the Ukrainian Power Grid, Defense Use Case, TLP: White. 18 March 2016. 23 p. [Vii-  
tattu 4.1.2017] Saatavissa: [https://ics.sans.org/media/E-ISAC\\_SANS\\_Ukraine\\_DUC\\_5.pdf](https://ics.sans.org/media/E-ISAC_SANS_Ukraine_DUC_5.pdf)

SFS 6000. (2012). Pienjännitesähköasennukset, Osa 5-55: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Muut sähkölaitteet, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2012, s 17.

SFS 6002. (2015). Sähkötyöturvallisuus, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2015, s 69.

Sihvonen S. (2015). Kytkentäsuunnittelun kuvaus ja kehittäminen. Opinnäytetyö. Tampere. Tampereen ammattikorkeakoulu, Sähkövoimatekniikka. 76 s.

Syvälä V. (2016). Keski-jänniteverkon suunnittelu- ja toteutusperiaatteet. Elenia Oy, ei julkaistu.

Tervo J. (2013). Verkostoautomaatiojärjestelmien tietoturva. Konsulttitoimisto Reneco. Selvitys Energiateollisuus ry:lle. Verkkodokumentti. [Viitattu 4.1.2017]. Saatavissa: [http://energia.fi/files/1015/Verkostoautomaatiojarjestelmien\\_tietoturva\\_pakattu.pdf](http://energia.fi/files/1015/Verkostoautomaatiojarjestelmien_tietoturva_pakattu.pdf)

Toivonen J. (2004). Sähkönjakeluyhtiöiden tietojärjestelmä ja tiedonhallinta. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. 108 s + liit. 14 s.

Trimble. (2016). Distribution Management System. [WWW]. [Viitattu 3.6.2016]. Saatavissa: <http://utilities.trimble.fi/trimble-dms.html>

Turvallisuuskomitea. (2015). Sähkörüippuvuus modernissa yhteiskunnassa. Turvallisuuskomitea, Helsinki. Verkkodokumentti. 102 s. [Viitattu 5.1.2017]. Saatavissa: [http://www.vvy.fi/files/4666/sahkoriippuvuus\\_modernissa\\_yhteiskunnassa\\_verkkojulkaisu.pdf](http://www.vvy.fi/files/4666/sahkoriippuvuus_modernissa_yhteiskunnassa_verkkojulkaisu.pdf)

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2016). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Verkkodokumentti. [Viitattu 29.12.2016]. Saatavissa: <http://tem.fi/documents/1410877/2148188/Kansallinen+energia-+ja+ilmastostrategia+vuoteen+2030+24+11+2016+lopull.pdf/a07ba219-f4ef-47f7-ba39-70c9261d2a63>

Valtonen P. & Honkapuro S. (2010). Aggregaattoritoiminnan ja -palveluiden toteutettavuus Suomessa. Tutkimusraportti. Lappeenranta University of Technology, raportti 31.5.2015, s. 46. Saatavissa: [https://webhotel2.tut.fi/units/set/research/inca-public/tiedostot/Raportit/Aggregaattori\\_toiminta\\_FINAL.pdf](https://webhotel2.tut.fi/units/set/research/inca-public/tiedostot/Raportit/Aggregaattori_toiminta_FINAL.pdf)

Vehmasvaara S. (2013). Compensation strategies in cabled rural networks. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. 97 s.

Verho P., Kärenlampi M., Pitkänen M., Järventausta P. & Partanen J. (1997). Distribution management system. Tampere University of Technology, Power Engineering, Report 5-97. 82 p.

Vihanninjoki V. (2015). Hajautettu energiantuotanto Suomessa - Nykytila ja tulevaisuus sekä vaikutukset ilmanlaatuun, Ilmansaasteet ja ilmastomuutoksen hillintä, Suomen ympäristökeskus SYKE - Kulutuksen ja tuotannon keskus, 30.6.2015, 61 s. Saatavissa: <http://www.syke.fi/download/noname/%7BDD119785-B537-45DE-AEF0-8360DCAB1BDF%7D/111845>

Walling R.A. & Miller N.W. (2002). Distributed generation islanding-implications on power system dynamic performance. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 21-25 July 2002, pp. 92-96.

Walling R.A., Saint R., Dugan R.C., Burke J & Kojovic L.A. (2008). Summary of Distributed Resources Impact on Power Delivery Systems - Working Group on Distributed Generation Integration. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No. 3, July 2008. pp. 1636-1644.

Zeineldin H.H., El-Saadany E.F. & Salama M.M.A. (2006). Impact of DG interface control on islanding detection and nondetection zones. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 3, July 2006. pp. 1515-1523.

## **HAASTATTELUT**

Lehtinen J. 2016. Käytönvalvoja, Elenia Oy. Tampere. Haastattelu 7.12.2016

Kangassalo P. 2016. Käytönvalvoja, Elenia Oy. Tampere. Haastattelu 7.12.2016.

Kupilta T. 2016. Käyttöinsinööri, Elenia Oy. Tampere. Haastattelu 16.12.2016

Okka M. Käytönvalvoja, Elenia Oy. Tampere. Haastattelu 11.12.2016.

Tomula J. Käytönvalvoja, Elenia Oy. Tampere. Haastattelu 8.12.2016.

Tuomola M. 2016. Käytönvalvoja, Elenia Oy. Tampere. Haastattelu 18.12.2016.

Udelius M. 2016. Tampereen tieliikennekeskuksen päällikkö, Liikennevirasto. Tampere. Haastattelu 19.5.2016.

Vakkilainen A. 2016. Palopäällikkö, Pirkanmaan pelastuslaitos. Tampere. Haastattelu 19.5.2016.

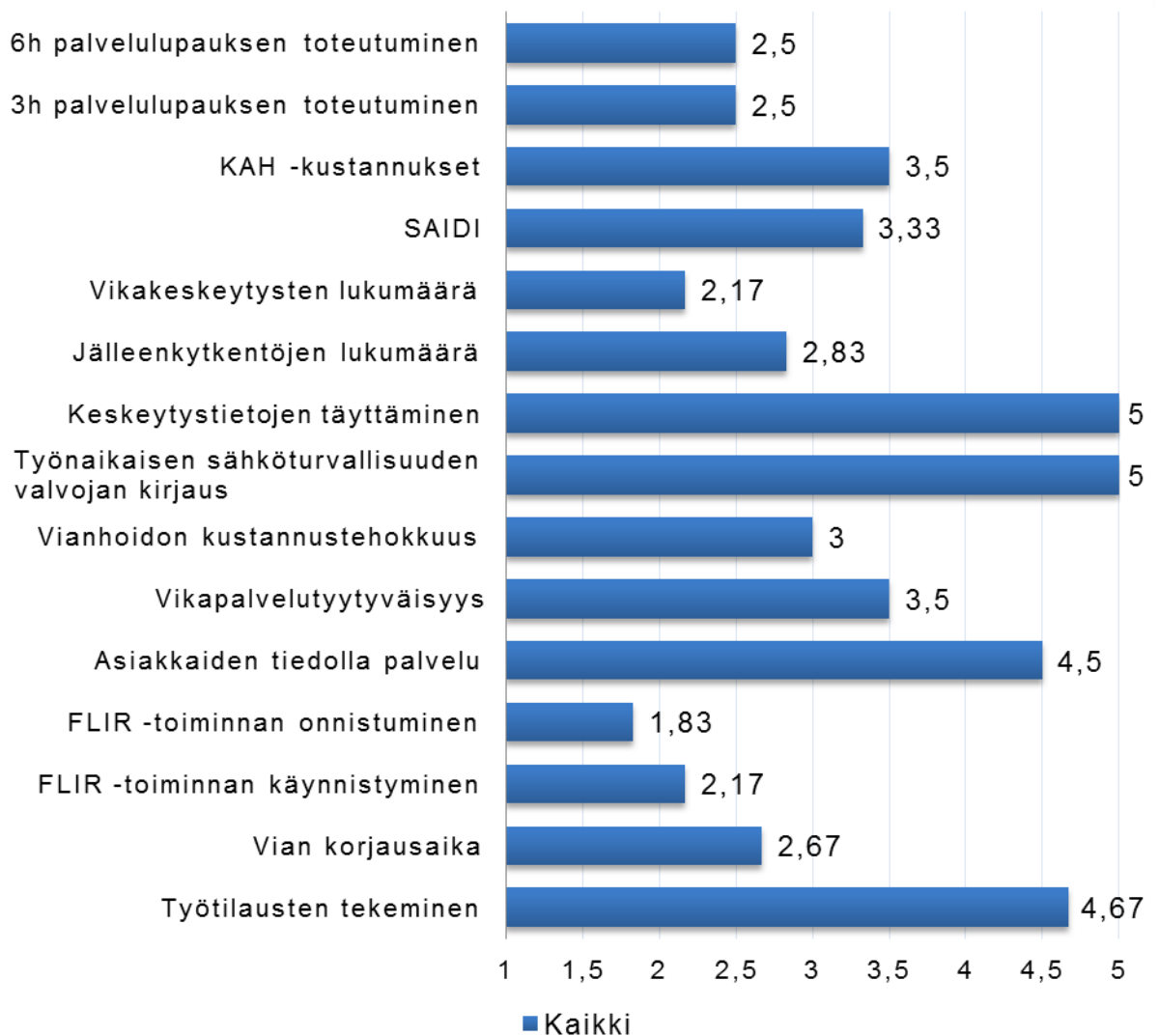
Viitanen R. Käytönvalvoja, Elenia Oy. Tampere. Haastattelu 18.12.2016.

## LIITE A: KYSELY KÄYTTÖKESKUSTOIMINNAN KEHITTÄMISESTÄ JA MITTAAMISESTA KÄYTÖNVALVOJILLE

Kysely tehtiin online-kyselynä Elenia Oy:n käytönvalvojille ja käyttöinsinööreille. Siihen vastasi 5 käytönvalvojaa ja käyttöinsinööri. Kyselyllä alustettiin käytönvalvojille ja käyttöinsinööreille tehtäviä keskustelu tyyppejä haastatteluita. Tässä liitteessä on esitetty kyselyn oleelliset tulokset. Alla esitettyjen kuvaajien tulokset ovat vastausten keskiarvoja. Liitteen lopussa on listattu kyselyn avoimet kysymykset sekä haastatteluiden runkoina käytetyt kysymykset.

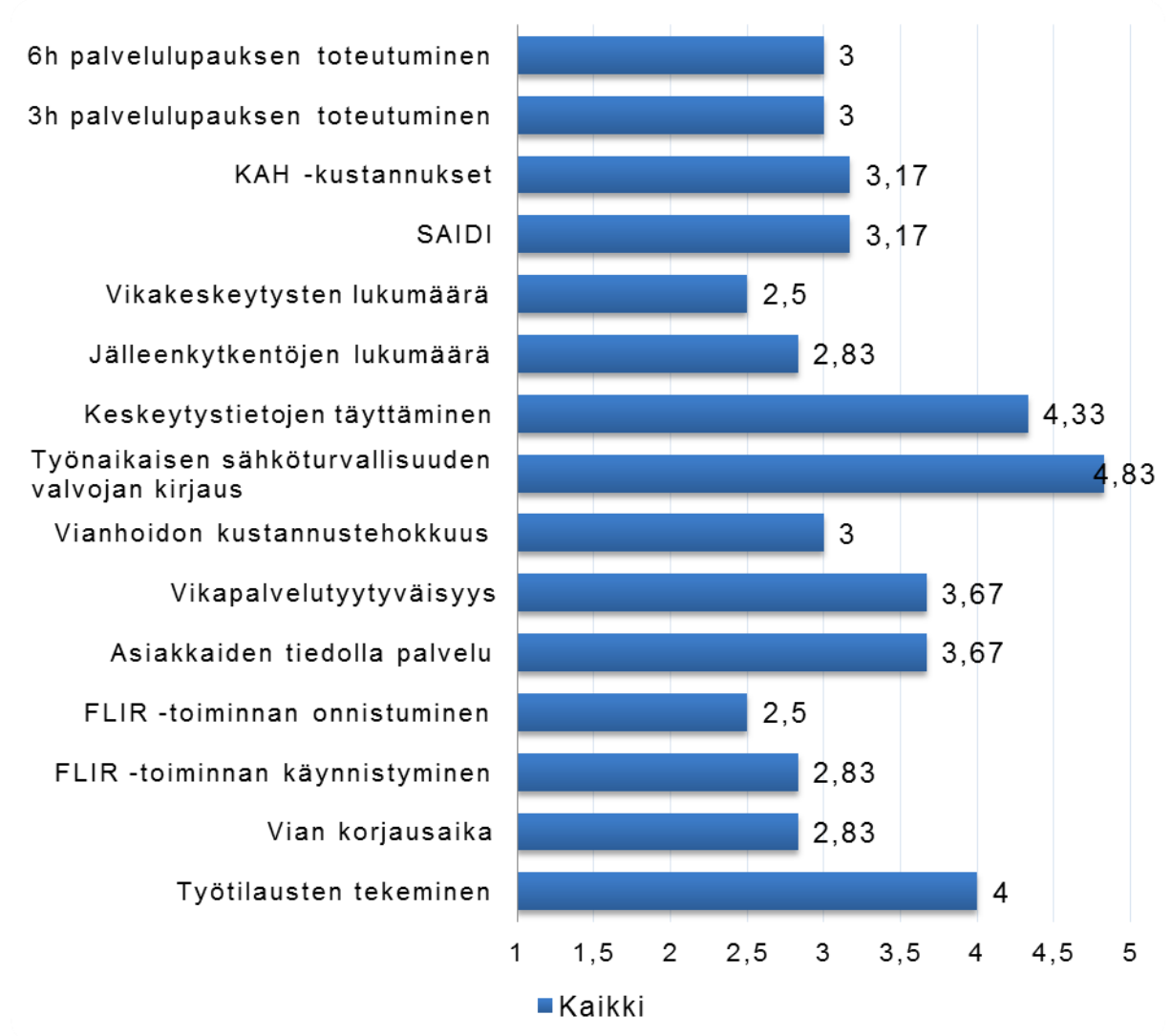
*Käytönvalvojan tehtävässä tunnen pystyväni vaikuttamaan seuraaviin mitattaviin/seurattaviin asioihin:*

*(1 = täysin eri mieltä, 5 = täysin samaa mieltä)*



*Käytönvalvojan tehtävässä tunnen seuraavien asioiden mittaamisen/seuraamisen nykyisellä mallilla ohjaavan tekemistäni haluttuun suuntaan:*

*(1 = täysin eri mieltä, 5 = täysin samaa mieltä)*



Kyselyn avoimet kysymykset:

*Mitä asioita tulisi käyttökeskustoimintaanliittyen mielestäsi mitata?*

1. Koko käyttökeskuksen tasolla
2. Yksilötasolla

*Mitä käyttökeskustoiminnan mittaamiseen liittyviä haasteita mielestäsi on?*

Käytönvalvojille ja käyttöinsinööreille tehtyjen haastatteluiden kysymykset:

### ***Käytönvalvonnan mittaaminen***

1. Mitkä nykyisistä mittareista koet käytönvalvonnan seurannassa ja kehittämisessä hyödyllisimmiksi? Miksi? (Nykyisiä mittareita mm. keskeytystietojen täyttäminen, KAH, FLIR:n toiminta, STV:n kirjaaminen, palvelulupausten täyttäminen, vikapalvelutyytyväisyys)
2. Mitkä nykyisistä käytönvalvonnan mittareista eivät mielestäsi ohjaa toimintaasi tai kerro sen tuloksesta? Miksi?
3. Mitä asioita käyttökeskuksen toiminnassa pitäisi mielestäsi mitata? Miksi?

### ***Käyttökeskustoiminnan kehittäminen***

4. Miten koet seuraavien toimintaympäristön muutosten vaikuttaneen tai tulevan vaikuttavan käytönvalvontaan:
  - a. Hajautetun tuotannon lisääntyminen
  - b. Laajat korvausinvestoinnit
  - c. Yhteiskunnan sähköriippuvuus
  - d. Kyberturvallisuus uhat
5. Mitkä ovat mielestäsi nykyisten ja tulevaisuuden haasteiden kannalta oleellisia käytönvalvonnan kehityskohteita?
  - a. nykyiset
  - b. tulevat

## LIITE B: KYSELY KÄYTTÖKESKUSTOIMINNAN MITTAAMISESTA OMAN TOIMEN OHELLA KÄYTÖNVALVONTAA TEKEVILLE

Kysely tehtiin online-kyselynä. Se välitettiin Elenia Oy:ssä 22:lle oman toimen ohella käytönvalvontaa tekeväälle henkilölle. Kyselyyn vastasi 12 henkilöä. Tässä liitteessä on esitetty kyselyn oleelliset tulokset. Alla esitettyjen kuvaajien tulokset ovat vastauksen keskiarvoja.

*Käytönvalvontaa tehdessäni tunnen pystyväni vaikuttamaan seuraaviin asioihin:*

*(1 = täysin eri mieltä, 5 = täysin samaa mieltä)*





*Käytönvalvontaa tehdessäni tunnen seuraavien asioiden mittaamisen tai seurannan ohjaavan tekemistäni oikeaan suuntaan:*

*(1 = täysin eri mieltä, 5 = täysin samaa mieltä)*



## LIITE C: MUILLE KRIITTISEN INFRASTRUKTUURIN VALVOJILLE TEHDYN HAASTATTELUN RUNKO

### *Kysymyksiä kriittisen infrastruktuurin valvojille*

1. *Millaisia vakioituja toimintamalleja tai prosesseja teillä on valvontatoiminnassa?*
  - a. *Normaaliajan tehtävien ja häiriöiden hoitaminen (Kuvausta millaisia tehtäviä hoidetaan, montako henkilöä töissä)*
  - b. *Lievät ruuhkatilanteet (Koska hälytetään lisäresursseja ja millä periaatteella? Kuka on vastuussa tästä?)*
  - c. *Suurhäiriöt*
2. *Onko valvomon tehtäviä ja vastuita jaettu valvomon sisällä eri henkilöille?*
3. *Miten ennakoitte häiriöitä?*
  - a. *Mistä eri lähteistä keräätte ennakkotietoja?*
  - b. *Oletteko havainneet kehityskohteita ennakoinnin parantamiseksi?*
4. *Mitä kautta saatte tietoa häiriöistä ja mitkä ovat tärkeimpiä kanavia tähän? (Omat järjestelmät ja teknologiat, asiakkaiden ilmoitukset jne.)*
5. *Miten seuraatte valvonnan laatua ja tehokkuutta? (Esim. valvomon vasteajat, tiedottaminen, raportointi jne.)*
6. *Montako tietojärjestelmää valvomossanne on käytössä ja minkä tyyppisiä nämä järjestelmät ovat?*
  - a. *Mitkä asiat koette tietojärjestelmien kehityksessä tärkeimmiksi valvontatoiminnan näkökulmasta?*
7. *Miten kommunikaatio on toteutettu eri tahojen suuntaan? (VIRVE, matkapuhelinverkko yms.)*
  - a. *Urakoitsijat tai oma henkilöstö kentällä*
  - b. *Muut viranomaiset*
  - c. *Muut toimijat*

7.1. *Onko teillä varayhteyksiä häiriöiden varalle?*

8. *Miten valvomohenkilökuntaa koulutetaan tehtäviinsä?*

9. *Mitkä asiat koette tärkeiksi valvomotoiminnan kehittämisessä tulevaisuudessa?*